

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

DETEKCE LIDSKÉ RUKY A JEDNOTLIVÝCH PRSTŮ VE VIDEOSEKVENCÍCH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB ŠULEK

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

DETEKCE LIDSKÉ RUKY A JEDNOTLIVÝCH PRSTŮ VE VIDEOSEKVENCÍCH

HAND AND FINGER DETECTION IN THE VIDEO SEQUENCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB ŠULEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ DLUHOŠ

BRNO 2012

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou detekce lidské ruky ve videosekvencích, zejména její navigací a správného rozložení prstů. V úvodních kapitolách je uveden přehled biometrických vlastností, rozvedeny součásti biometrických systémů a popis anatomie ruky. Následně jsou v práci uvedeny metody rozpoznávání geometrie ruky i popsány funkční vzorky, se kterými program pracuje. Poté je uveden návrh řešení. Program pracuje s volně dostupnou knihovnou OpenCV a založen na nacházení význačných bodů ruky. Část práce věnující se navigaci popisuje detekci jednotlivých stavů a rozhodovací mechanismus pro určení správného příkazu.

Abstract

The thesis deals with problems concerning detection of human hand and fingers in the videosequences, especially navigation and determination of correct distribution of fingers. There is an opening presentation of existing biometrics, description of biometric system and hand anatomy. After are given the methods of hand geometry recognition and functional example description. Consequently there is a proposal of a new solution. Program uses open source OpenCV library based on hand's significant points detection. The next part of the thesis is dedicated to navigation, detection of known states and description of order determining mechanism.

Klíčová slova

Biometrie ruky, geometrie ruky, navigace uživatele, zpracování videa.

Keywords

Hand biometrics, hand geometry, user navigation, videoprocessing.

Citace

Jakub Šulek: Detekce lidské ruky a jednotlivých prstů ve videosekvencích, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2012

Detekce lidské ruky a jednotlivých prstů ve video- sekvencích

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Dluhoše. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Jakub Šulek
16. května 2012

Poděkování

Chcel by som sa poďakovať môjmu vedúcemu Ing. Ondřejovi Dluhošovi za odborné vedenie, za užitočné rady, a za čas a snahu venovanú konzultáciám pri vedení mojej bakalárskej práce.

© Jakub Šulek, 2012.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1	Úvod	2
2	Biometria	3
2.1	Biometrické vlastnosti	3
2.2	Biometrický systém	5
2.3	Identita, identifikácia a verifikácia	7
2.4	Anatómia ruky	7
3	Geometria ruky	10
3.1	Metódy rozpoznania využívajúce geometriu ruky	10
3.2	3D geometria ruky	12
3.3	Detekcia ruky našou funkčnou vzorkou	13
3.4	Funkčná vzorka druhej verzie	14
4	Návrh a implementácia	17
4.1	Práca s knižnicou OpenCV	17
4.2	Umiestnenie ruky	18
4.3	Nachádzanie význačných bodov ruky	19
4.3.1	Kontúra ruky	19
4.3.2	Nachádzanie prstov	21
4.4	Navigácia ruky	23
4.5	Predávanie príkazov a zobrazenie dostupných informácií	27
4.6	Ovládanie programu	29
4.7	Možné pokračovanie	30
5	Testovanie	31
5.1	Výsledky testov	31
5.2	Zhodnotenie dosiahnutých výsledkov	32
6	Záver	35

Kapitola 1

Úvod

Biometria je dnes veľmi rozšíreným odvetvím informačných technológií a pomocou biometrických vlastností človeka rozpoznávame jednotlivých ľudí. S biometriou sa stretávame v každodennom živote, v ktorom automaticky rozlišujeme známeho človeka pomocou zmyslov podľa rysov jeho tváre, postavy, hlasu, spôsobu rozprávania či dokonca chôdze. Tieto vlastnosti zároveň umožňujú rozlišovať jednotlivcov aj pomocou rôznych zariadení a biometrických systémov.

Medzi biometrickými systémami sa čoraz väčšou mierou vyskytujú kamerové detekčné systémy s real-timeovým spracovaním obrazu. Medzi najviac využívané patria práve systémy snímajúce ruky a ľudskú tvár. Spolu s výkonom sa však menia aj požiadavky. V minulosti sa vyskytovali najmä systémy využívajúce odtlačky prstov. Neskôr to bolo snímanie 2D geometrie ruky a skenovanie sietnice ľudského oka. V dnešnej dobe sa rozvíja detekcia rysov tváre a 2.5D a 3D geometria ruky. Tieto systémy so sebou prinášajú potrebu interakcie s užívateľom. Užívateľa je potrebné navigovať, usmerňovať a signalizovať mu stav operácie. Najpriateľnejšou formou komunikácie sú jednoduché príkazy v grafickej či zvukovej podobe.

Cieľom mojej bakalárskej práce je oboznámiť čitateľa so základmi biometrických systémov a ich metód na detekciu geometrie ruky. Zároveň by som rád prezentoval funkčnú vzorku ktorú moja práca využíva, popísal jej novšiu verziu, a odhalil ich pozitíva či slabiny. Svojou prácou sa chcem zapojiť do projektu prebiehajúceho už dlhšiu dobu vo výskumnej skupine STRADe. Tento projekt si kladie za cieľ vytvoriť biometrický systém využívajúci 3D geometriu ruky, a vytvoriť databázu užívateľov.

Svojou prácou som sa snažil vytvoriť program, ktorý by bol schopný absolútne spoľahlivo navigovať užívateľa a zabezpečiť tak získavanie kvalitných a relevantných dát pre ďalšie spracovanie systému, a zároveň prispieť k rozvoju technológie na spoľahlivú identifikáciu ľudí. Myslím si, že táto technológia má budúcnosť v širokom spektre aplikácií ako sú vstupné systémy, inteligentná domácnosť, bezpečnostné sledovacie systémy, policajné databázy a mnohé iné.

Vo svojej práci sa najprv venujem úvodu do biometrie, biometrickým systémom a súvisiacim pojmom, a anatómii ruky. Neskôr popisujem spôsoby a postupy rozpoznávania ľudskej ruky v obraze, určovaní polohy prstov, ich vzdialeností a priestorovej biometrii. V rámci kapitoly o geometrii ruky prezentujem aj našu funkčnú vzorku a jej druhú verziu. V ďalšej kapitole prezentujem použité prostriedky, opisujem prácu s videom a obrazom, a objasňujem jednotlivé postupy a funkčné časti. V piatej kapitole prezentujem dosiahnuté výsledky a v poslednej kapitole zhodnocujem dosiahnutie cieľov a výsledky svojej práce.

Kapitola 2

Biometria

Biometria má pôvod v gréčtine a podľa [2] sa skladá zo slova “bios”, znamenajúce život, a “metron” označujúce merítko. Ide teda o akési meranie života. Prvé zmienky o využití biometrie sú asi 31 000 rokov staré a išlo o odtlačky rúk na stenách jaskyne nachádzajúce sa pri maľbách, a slúžiace ako istý druh podpisu autora maľby.

Ďalší doklad pochádza z roku 500 p.n.l., keď odtlačky prstov boli nájdené v hlinených tabuliach zaznamenávajúcich obchodné transakcie. Prvé reálne využitie biometrie však pochádza až z druhej polovice 19. storočia, kedy sa začali pre identifikáciu ľudí používať odtlačky prstov a rúk, a takisto vznikol vedný odbor antropometria, ktorý sa zaoberal meraním a zaznamenávaním ľudských telesných rozmerov, a následným použitím k identifikácii alebo verifikácii osoby.[11][2]

Biometria ako charakteristika človeka je pojem vyjadrujúci jeho merateľné biologické atribúty a prejavy správania použiteľné na automatické rozpoznávanie. Ako proces popisuje automatické metódy identifikácie jednotlivcov na základe merateľných anatomických a psychologických charakteristík. V oblasti informačných technológií toto slovo označuje postup rozpoznávania ľudských vlastností, alebo aj automatizované rozpoznanie osôb podľa ich rysov.[2]

Technológia biometrie, ako je písané v [10], je využívaná tuctami aplikácií, kde v závislosti od aplikácie môžu byť výhodou využitia tejto technológie zvýšená bezpečnosť a pohodlie, znížené riziko podvodov alebo zabezpečenie ďalších služieb. V niektorých aplikáciách sú biometrické zariadenia využívané iba ako odstrašujúci prvok, no vo väčšine prípadov je to centrálnym prvkom zabezpečenia. Hlavnými dôvodmi pre zapojenie biometrie do praxe sú:

1. Výhody nasadenia sú odvodené od vysokej úrovne istoty v súvislosti s identitou užívateľa.
2. Tieto výhody vedú priamo či nepriamo k úspore finančných prostriedkov, či redukovaniu rizík finančných strát.

2.1 Biometrické vlastnosti

Biometrické vlastnosti (rysy), ako je písané v [2], musia spĺňať určité predpoklady, aby boli vôbec použiteľné. Musia byť univerzálne, teda každá osoba musí touto vlastnosťou disponovať. Ďalej musia byť jedinečné, čo znamená, že žiadne dve osoby túto vlastnosť nemajú rovnakú. Nesmú sa meniť s časom, teda musia byť konštantné, a takisto musí byť možné ich získať a kvantitatívne zmerať. Tieto vlastnosti sa nesmú meniť s časom, ani

zostarnúť, a nesmie byť ľahké vytvoriť falzifikát. Medzi posledné kritéria patria finančné náklady na systém a ochota ľudí podstúpiť takéto snímanie vlastností.

Rysy rozdeľujeme podľa [2] na **anatomické**:

- tvár,
- tvar ucha,
- odtlačok prstu,
- očná sieťnica,
- očná dúhovka,
- termogram tváre,
- termogram ruky,
- dentálny obraz,
- DNA,
- dlaň,
- geometria ruky,
- snímok nechtu,
- podpis (statická forma),

a **behaviorálne**:

- chôdza,
- podpis (dynamická forma),
- hlas / reč,
- mimika tváre a pohyb pier,
- dynamika stlačenia kláves

Anatomické vlastnosti vždy zahŕňajú jeden konkrétny rys, na ktorý nemá aktuálny stav človeka veľký vplyv. Vyskytuje sa u človeka vždy a na jeho analýzu sa využíva statická metóda.

Naproti tomu behaviorálne vlastnosti sú ľahko ovplyvniteľné, a preto častokrát rôzne merania a snímania vedú k rôznym výsledkom. Tieto vlastnosti sú spojené s nejakou akciou osoby.

Systémy sa delia podľa počtu rysov, s ktorými pracujú na unimodálne a multimodálne, pričom unimodálne pracujú s jedným rysom, majú nižšiu cenu, ale sú menej spoľahlivé. Multimodálne, naopak, pracujú s viacerými rysmi, sú drahšie, no sú oveľa spoľahlivejšie. [2]

2.2 Biometrický systém

Biometrický systém sa skladá z dvoch modulov, registračného a verifikačného/identifikačného. Oba moduly obsahujú biometrický senzor, pomocou ktorého získavajú biometrickú vzorku. Rovnako je súčasťou oboch modulov biometrický merkant, čo sú v podstate rysy extrahované zo vstupnej vzorky. Tieto rysy registračný modul ukladá do databázy, kde je biometrická informácia registrovaná. Verifikačný/identifikačný modul získané dáta porovná s dátami v databáze a vyhodnotí, či skúmané vzorky vyhovujú porovnaniu [2].

Iné poňatie biometrického systému podľa [6] hovorí, že biometrický systém je vo svojej podstate vzory rozpoznávajúci systém vyžadujúci biometrické dáta osôb, extrahujúci súbory význačných rysov, a porovnávajúci tieto súbory so súbormi uloženými v databáze, pričom vykonáva akcie závislé na výsledkoch tohoto porovnania, ako je to zobrazené na obrázku 2.1. Preto môže byť všeobecný biometrický systém považovaný za zostávajúci zo štyroch hlavných modulov.

Prvým je senzorový modul, ktorý obsahuje príslušné zariadenie na získavanie dát. Senzorový modul určuje rozhranie medzi človekom a prístrojom, a z toho dôvodu je zásadný v otázke výkonu biometrického systému.

Ďalším modulom v poradí je kvalitu posudzujúci a rysy extrahujúci modul. Dáta z predchádzajúceho modulu sú posudzované z hľadiska ich vhodnosti k nasledujúcemu spracovaniu. Typicky sa na menej vhodné dáta aplikuje upravujúci algoritmus, no v prípade nepoužiteľných dát je potrebné získať tieto dáta znova. V prípade registrácie sa tieto dáta uložia do databázy a slúžia ako referenčný vzor.

Porovnávací a rozhodovací modul vypočítava porovnávacie skóre z komparácie referenčných a vstupných vzorov. Výsledné skóre závisí aj od kvality vstupných dát. Modul v sebe obsahuje aj rozhodujúcu časť, ktorá na základe vypočítaného skóre určí výsledok porovnania, či už ide o overenie konkrétnej identity, alebo určenie najvhodnejšieho výsledku.

Posledným je databázový modul, vystupujúci v úlohe repozitáru biometrických informácií. Databáza systému sa naplňa počas registrácie užívateľov, kedy každý užívateľ vloží do systému svoje dáta, ktorých extrahovaná forma sa ukladá do databázy ako vzor pre budúce porovnania.

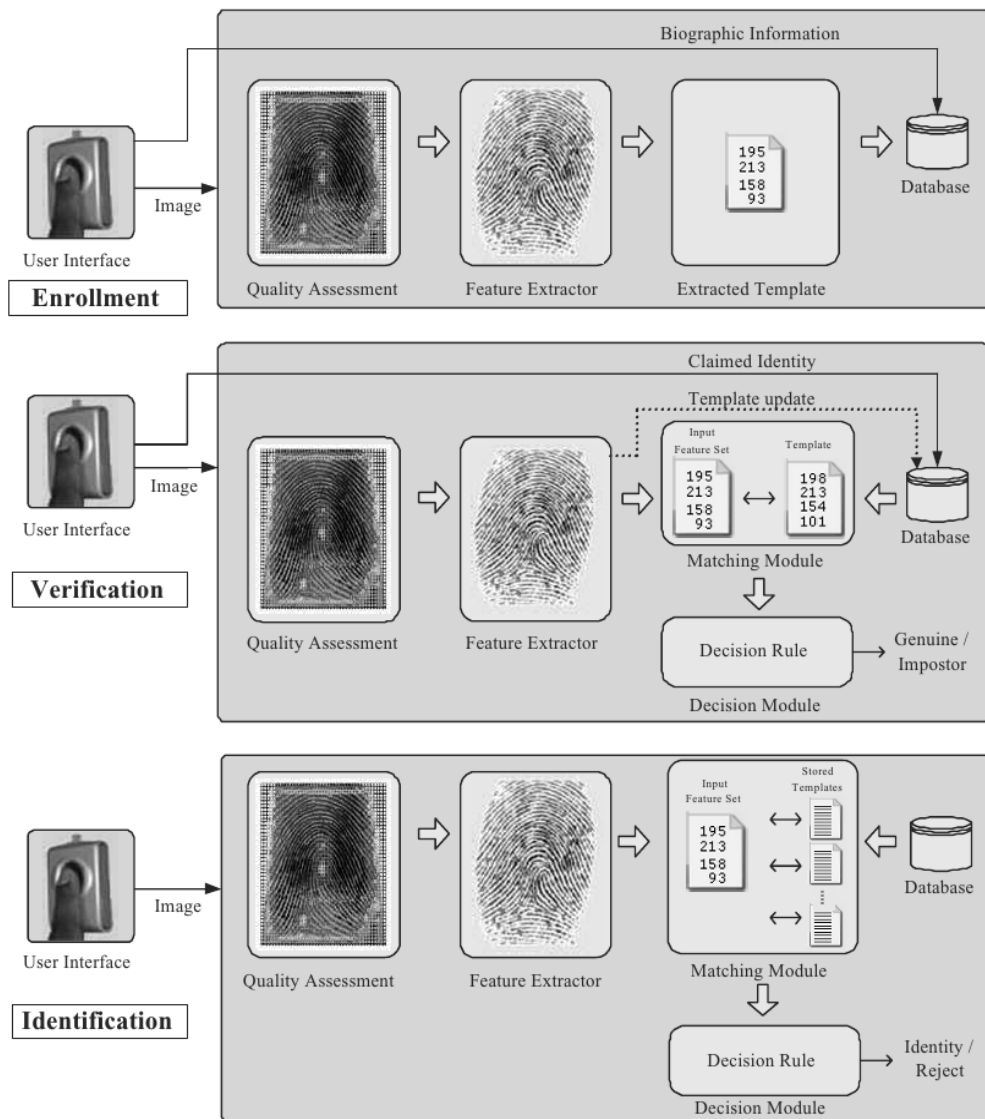
Medzi v praxi používané metriky biometrických systémov, ako je písané v [13], patria dve hlavné, a to pravdepodobnosť chybného odmietnutia (anglicky False Rejection Rate) a pravdepodobnosť chybného prijatia (anglicky False Acceptance Rate). Prvá metrika, skrátene FRR, je jedným z kritérií na bezpečnostnú a užívateľskú spoľahlivosť. FRR udáva, s akou pravdepodobnosťou bude biometrické zariadenie robiť chyby, kedy nerozpozna oprávneného užívateľa, alebo osoby s uloženými referenčnými dátami v databáze.

$$FRR = \frac{N_{FR}}{N_{EIA}} \quad FRR = \frac{N_{FR}}{N_{EVA}}$$

- N_{FR} - Počet chybných odmietnutí
- N_{EIA} - Počet pokusov oprávnených osôb o identifikáciu
- N_{EVA} - Počet pokusov oprávnených osôb o verifikáciu

Z bezpečnostného hľadiska sa nejedná o kriticky negatívny jav, no znižuje dôveru užívateľov v takýto systém, jeho spoľahlivosť a užívateľskú príjemnosť.

Narozdiel od predošlej metriky je jav chybného prijatia veľkým bezpečnostným rizikom. Spolu s náročnými požiadavkami na bezpečnosť je vylúčené, aby systém akceptoval neoprávnených užívateľov.



Obrázek 2.1: Biometrický systém a jeho moduly v úkonoch vykonávaných systémom podľa [6]

$$FAR = \frac{N_{FA}}{N_{IIA}} \quad FAR = \frac{N_{FA}}{N_{IVA}}$$

- N_{FR} - Počet chybných prijatí
- N_{EIA} - Počet pokusov neoprávnených osôb o identifikáciu
- N_{EVA} - Počet pokusov neoprávnených osôb o verifikáciu

Medzi menej používané patria metriky ako neschopnosť registrácie užívateľa (anglicky Failure to Enroll), chybné získanie dát (anglicky Fail to Acquire), nesprávne stotožnenie (anglicky False Match) a nesprávne nestotožnenie (anglicky False Non-Match). Okrem nich sa vyskytujú aj metriky nesprávna zhoda (anglicky False Match Rate), ekvivalentné FAR,

nesprávna nezhoda (anglicky False Non Match Rate), ekvivalentné FRR, a ROC/DET krivky, vyjadrujúce vzťahy medzi metrikami.

2.3 Identita, identifikácia a verifikácia

Identita je jednoznačná charakteristika každého z nás. Ako sa píše v [2], fyzickú identitu má človek len jednu, a tá je definovaná vzhľadom a správaním, pričom neexistuje človek s rovnakou identitou. Elektronická identita takéto obmedzenia nemá. Každý človek môže mať mnoho elektronických identít týkajúcich sa účtov na e-mailových serveroch, portáloch, hrách, sociálnych sieťach a pod.

Podľa [21] identifikácia slúži na zistenie identity osoby. V identifikačných systémoch je to ďalším krokom po extrahovaní vzoriek od užívateľa. Narozdiel od verifikačných systémov, nie je potrebné systému oznámiť svoju identitu. Na získanie zhody sa dočasne vytvorený vzor neporovnáva s referenčným vzorom jedného užívateľa, ale postupne sa prehľadávajú všetky vzory uložené v databáze systému, ako je to možné vidieť na obrázku 2.2. Preto sa tomuto porovnaniu hovorí 1:N alebo 1:MANY.

Existujú dva typy identifikačných systémov, pozitívny a negatívny. Pozitívne identifikačné systémy sú navrhnuté tak, aby potvrdili existenciu biometrických záznamov v databáze. Predpokladaným výsledkom je zhoda. Typickým príkladom sú prístupové systémy budov.

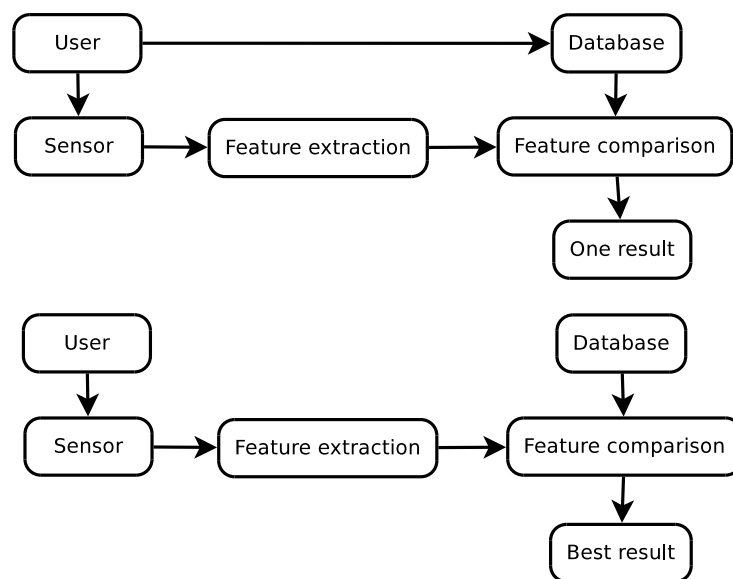
Negatívne systémy, naopak, ako výsledok predpokladajú nezhodu a využívajú sa často na odhalenie viacnásobnej registrácie užívateľa. Ďalším typom negatívnych systémov sú tzv. dohľadové systémy obsahujúce zoznamy sledovaných ľudí. Pozitívnu odpoveď od systému dostane osoba nenachádzajúca sa v takomto zozname.

Verifikácia, podľa [21] je iným prístupom oproti identifikácii, kedy sú vzorky biometrických dát získané od užívateľa porovnávané s dátami užívateľa proklamovanej identity v databáze. Po potvrdení, že sa užívateľ so zadanou identitou v databáze nachádza, sa skúmanej osobe odoberú biometrické dáta, z ktorých sa extrahuje a vytvorí dočasný vzor, porovnávaný so vzorom uloženým v databáze. Verifikácia je často referovaná ako porovnanie 1:1. Tieto systémy sú vhodné do prostredí s veľmi veľkým počtom užívateľov.

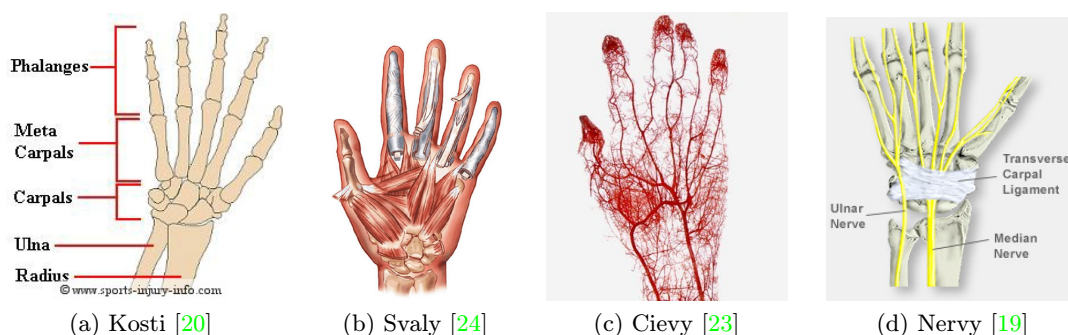
2.4 Anatómia ruky

Anatómia ľudskej ruky je unikátna a zahŕňa rozloženie kostí, kĺbov, ciev a svalov, uvedené na obrázku 2.3. Fyziologické prepojenia a štruktúry týchto častí sú zodpovedné za štruktúru ľudskej ruky. Ruka pozostáva z piatich prstov, dlane a zápästia. V ruke sa podľa [15] nachádza 27 kostí, deliacich sa do troch skupín. Kostí karpálne, teda kosti zápästia, metakarpálne, čiže záprstné kosti nachádzajúce sa v dlani, a kosti článkov prstov. Palec sa skladá, narozdiel od ostatných prstov, len z dvoch článkových kostí, zatiaľčo všetky ostatné prsty majú články tri. Viac informácií je možné nájsť v odbornej literatúre, napríklad v [15], [16] a [17], z ktorej niektoré informácie pochádzajú.

Svaly na ruke slúžia na pohyb, uchopovanie a manipuláciu s predmetmi. Delia sa na skupinu ohýbačov, ťahovačov, ktorá sa ďalej delí na povrchovú a hĺbkovú vrstvu, a na vlastné svaly ruky. Ďalším prvkom, ktorý anatomia ruky podľa [17] zahŕňa, sú nervy, ktoré prenášajú nervové vzruchy. Tieto sa v ruke nachádzajú tri, ktoré sa ďalej rozvetvujú na mnoho ďalších menších nervov. Obdobným v prípade nervového systému je cievny systém zásobujúci ruku kyslíkom, živinami a ďalšími potrebnými látkami [16].



Obrázek 2.2: Rozdiel medzi identifikáciou a verifikáciou



Obrázek 2.3: Schéma anatomie ruky

Anatómia dvoch ľudských rúk je výrazne podobná a preto sa aj pri jednotlivých znakoch ľavej a pravej ruky očakávajú podobné hodnoty. Narozdiel od iných biometrických znakov, ako dúhovka či odtlačky prstov, ktorých výsledky sa v dvoch rozličných vzorkách (pravá a ľavá) líšia. [9]

Človek má schopnosť rozoznávať ľudí vo svojom okolí na základe tvaru ich rúk pomerne jednoducho. Geometria ruky závisí na tvare, dĺžke, šírke a vzdialenosti ruky v rôznych miestach. Biometrické systémy využívajúce geometriu ruky nie sú podľa [2] považované za vhodné na identifikáciu osôb pre širokú skupinu ľudí, pretože jednotlivé zložky geometrie ruky nemajú dostatočne veľkú rozlišovaciu schopnosť. Avšak nízkonákladné požiadavky a malá zložitosť extrakcie črt z nich robia veľmi vhodné systémy do prostredí s menším počtom ľudí.

Spomedzi množstva spôsobov, ktoré slúžia na identifikáciu ľudí v biometrii, patria spôsoby založené na geometrii ruky medzi vysoko výkonné a užívateľmi veľmi akceptované. Biometrické systémy založené na geometrii ruky zahŕňajú niekoľko fyziologických či behaviorálnych rysov, pričom každý z nich má svoje individuality, ktoré sa podieľajú na anatómii ruky. [9]

Metódy založené na 2D geometrii ruky sú v poslednom období bežnou praxou, zatiaľčo metódy využívajúce 3D sú stále len vo vývojovej fáze. 2D metódy sú vhodné najmä do miest, kde je náročné použiť odtlačky prstov či rozmery tváre.

Kapitola 3

Geometria ruky

V tejto kapitole popisujem existujúce zariadenia a postupy, ktoré sa využívajú v praxi, a neskôr sa venujem rozboru našej funkčnej vzorky, princípu jej fungovania a jeho novej verzii.

Zariadenia využívajúce geometriu ruky sa z hľadiska snímania obrazu podľa [7] delia podľa viacerých kategórií.

1. Prvé rozdelenie závisí na potrebe užívateľovho kontaktu s podložkou. Typické systémy požadujú umiestnenie ruky na plochý povrch či špeciálne upravenú podložku, a spoluprácu identifikujúcej sa osoby. Opačným prístupom, navrhovaným ako možné riešenie komplikácií s veľkými rozmermi je použitie tzv. “bezkontaktných” systémov, vyžadujúcich mnohé rozširujúce súčasti umožňujúce prácu v trojrozmernom priestore.
2. Podľa použitej strany ruky sa systémy delia na zariadenia snímajúce dlaň (anglicky palmar side), a zariadenia snímajúce chrbát ruky (anglicky dorsal side). Častejšie využívaným postupom je snímanie chrbtovej strany ruky, resp. dorzálnej strany. Dlaňová strana sa zväčša využíva v kombinácii s inými biometrickými črtami.
3. V závislosti od nasadenia dištančných kolíkov (anglicky pegs) taktiež rozlišujeme zariadenia na dva druhy. Tie, ktoré dištančné kolíky obsahujú, zabraňujú vzájomnému dotyku prstov a obmedzujú pohyb.

Najčastejšie využitie rozpoznávacích zariadení založených na geometrii ruky je v podnikovej sfére v podobe prístupových a dochádzkových systémov. Vo svojej podstate sú tieto systémy zariadeniami spracúvajúcimi obraz. Ako už bolo spomenuté, na kontakte založené systémy musia mať snímacie zariadenie v určitej vzdialenosti od ruky a to obmedzuje minimálnu veľkosť, tým pádom aj ich použiteľnosť v prenosných zariadeniach.

3.1 Metódy rozpoznania využívajúce geometriu ruky

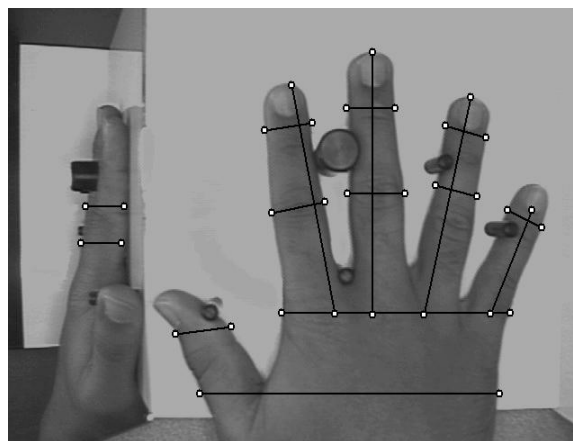
Podľa [2] existuje niekoľko základných metód rozpoznávania osôb založených na geometrii ruky. Sú to metódy založené na priamych meraniach, zarovnaní ruky, analýze šírky prstov a 3D geometrii ruky.

Prvá zo spomínaných metód využíva výsledky priameho merania rôznych význačných bodov a vzdialeností, ako je možné vidieť na obrázku 3.1. Často sa zariadenie využíva dištančné kolíky, ktoré obmedzujú pohyb ruky po podložke a značne zjednodušujú celý postup. Je však potrebné tieto kolíky z nasnímaného obrazu dodatočne odstrániť, ale pozícia

kolíkov je nemenná, čo ich elimináciu v obraze uľahčuje. V prípade, že kolíky nie sú použité, je mnohokrát potrebné obraz otáčať, posúvať, či inak upravovať. V metóde priameho merania sa používajú štandardné vlastnosti ruky, ako sú šírky prstov v rôznych miestach a ich dĺžka.



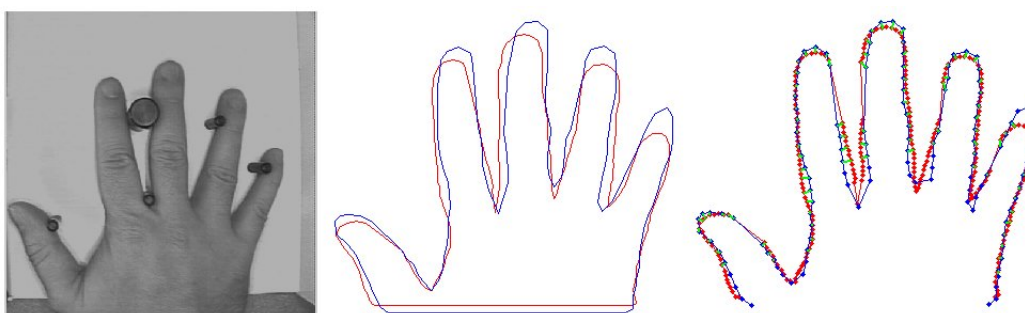
(a) Zariadenie Hand Key II využívajúce distančné kolíky [1]



(b) Bežne využívané rozmery [14]

Obrázek 3.1: Zariadenie Hand Key II využívajúce kolíky pre obmedzenie pohybu

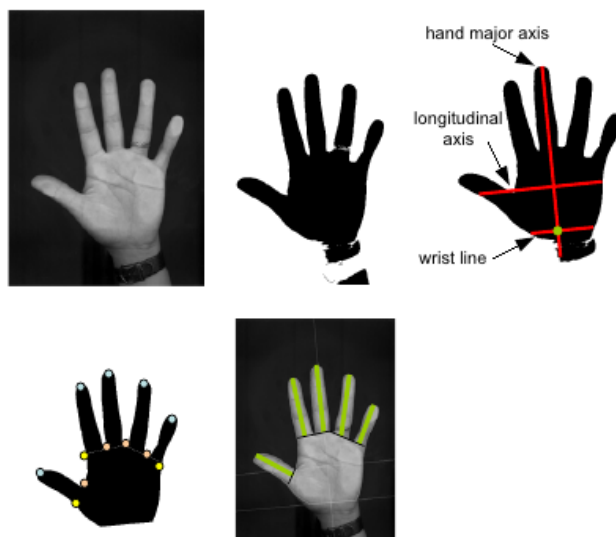
Metódy založené na zarovnaní rúk, zobrazené na obrázku 3.2, pracujú na princípe porovnania vzoru a obrazu, kedy sa snažíme ruku natočiť do predom definovanej polohy. Pomocou adaptívneho prahovania sa získa binárna maska a extrahuje sa kontúra ruky. Pri extrakcii a zarovnaní prstov sa najskôr extrahujú pozície a smery prstov, ktoré sa prekrývajú so šablónou, s ktorou sa snímok porovnáva. Nasleduje párovanie bodov a výpočet párovaných vzdialeností, kedy sa vypočíta priemerná vzdialenosť medzi zodpovedajúcimi bodmi (anglicky Mean Alignment Error). Ak tento priemer nepresahuje zadanú hodnotu, systém vyhlási ruky za zhodné.



Obrázek 3.2: Porovnanie zarovnaní rúk [3]

Metóda založená na analýze šírky prstov využíva analýzu rozmiery jednotlivých prstov a ruky, ako je ukázané na obrázku 3.3. Metóda najprv vytvorí binárny obraz, ten za pomoci rôznych úprav a filtrov zbaví trhlín v obraze. Nájdu sa osi ruky potrebné pre ďalšiu analýzu. V časti, v ktorej sa prsty nachádzajú, sa zistia lokálne minimá a maximá na okraji ruky,

a z nich sa následne určia špičky prstov a medziprstia. Obrázok je rozdelený na jednotlivé prsty, kde vzdialenosti každého bodu okraja prstu od jeho osy sú zaznamenané a prepočítavané. Výsledok klasifikácie závisí na celkovej vzdialenosti pravdepodobnostných rozložení všetkých prstov. Na identifikáciu je vybraný človek s najmenšou vzdialenosťou vzhľadom na snímok.



Obrázok 3.3: Analýza šírky prstov [4]

Na snímanie obrazu sa využíva kamera, na ktorú nie sú kladené žiadne vysoké nároky, dokonca sa často využívajú aj kamery snímajúce obraz len v stupňoch sivej. Zariadenia obvykle disponujú aj vlastným zdrojom svetla, či už vo viditeľnom, alebo infračervenom spektre. Medzi ďalšie vlastnosti zariadení patrí využitie podložky, ktorá je reflexná vzhľadom na použitý zdroj svetla.

V súčasnosti sa z komerčných zariadení na trhu nachádzajú prevažne iba zariadenia HandKey II a Very Fast Access Control, s ktorých druhé využíva iba dva prsty. Využívajú sa v prostrediach s menšími nárokmi na bezpečnosť ako sú zábavné parky.

3.2 3D geometria ruky

Poslednou metódou spomínanou v [2], o ktorej sa začalo hovoriť až v posledných rokoch je metóda využívajúca 3D geometriu ruky. K extrakcii rysov sa využíva celý povrch ruky pomocou vhodne zvolených parametrov popisujúcich túto ruku. Na získanie snímok postačuje obyčajná CCD/CMOS kamera, kde ruka je často osvetľovaná štruktúrovaným svetlom. Pre lepšie rozlíšenie jednotlivých línií sa využívajú aj rôzne farby tohoto svetla. Rovnako vhodným môže byť aj použitie infračerveného svetla.

Princíp určenia polohy bodov v priestore je založený na triangulácii a deformácii premietaných línií. Presnosť takejto rekonštrukcie sa pohybuje v jednotkách milimetrov. Naproti tomu, pri použití priemyselných systémov na rekonštrukciu povrchu, je presnosť iba niekoľko stoviek mikrometrov.

Ako príznaky, ktoré sa zo zrekonštruovaného povrchu extrahujú, sa v súčasnosti používajú povrchy jednotlivých prstov. Po ich lokalizácii a upravení orientácie v priestore je

možné určiť zakrivenia prstov a ich šírku. Tieto príznaky priamo slúžia ako obsah šablóny. Vektory príznakov sú najčastejšie porovnávané na základe výpočtu vzdialeností pomocou Euklidovej vzdialenosti alebo váhy.

Transformácia samotných informácií reprezentovaných v 2D obraze sa podľa [18] odohráva vo viacerých krokoch. V prvom rade sa vytvorí primárna skica či náčrt, neskôr 2.5D náčrt, ktorý sa potom pretransformuje do plnej 3D reprezentácie. Primárna skica slúži na zachytávanie informácií o zmenách intenzity. Tieto zmeny sú získané sériou filtrov a iných úprav, z ktorých je najčastejšie používaný Gaussov filter nasledovaný algoritmami priechodu nulou.

2.5D skica rekonštruje relatívnu vzdialenosť pozorovateľa od povrchov, detekovaných prechodov a hrán, pričom sa tento náčrt často označuje ako hĺbková mapa (anglicky depth map). Vstupom tejto fázy spracovania sú črty extrahované z predošlej fázy. Výsledok aktuálneho spracovania však nieje plnohodnotnou 3D reprezentáciou, ale ide o akýsi medzistupeň medzi 2D a 3D reprezentáciou. Objekty v náčrte sú prezentované len zo strany pohľadu užívateľa a objekt ako celok neobsahuje popis nepozorovaných strán. Existuje viacero prístupov na získanie 2.5D skice, no najviac využívaným spôsobom je pokračovanie v prístupe zdola nahor, kde sa nevytvárajú ďalšie poznatky o objektoch v scéne, ale skôr sa zahrňujú informácie o povahe osvetlenia a pohybujúcich sa prvkoch. Tento prístup sa podľa [18] v praxi označuje anglicky “shape from X”.

Samotné získanie 3D reprezentácie je najťažšou časťou celého zobrazovacieho mechanizmu. Jej kvalita priamo závisí na výsledku 2.5D náčrtu a všetkých abstrahovaných rysov a informácií. Mnoho prístupov k danému problému sa pokúša každý objekt brať ako samostatný celok vyskytujúci sa v scéne namiesto toho, aby sa pokúšali pochopiť celú scénu ako jeden priestor s objektami.

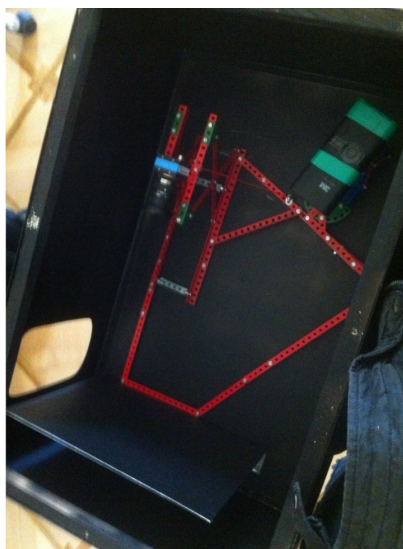
3.3 Detekcia ruky našou funkčnou vzorkou

Program využíva funkčnú vzorku, nachádzajúcu sa na Fakulte informačných technológií Vysokého učení technického v Brně v laboratóriu biometrických systémov, S214”, Funkčná vzorka je využitá inak než je určené v zadaní mojej práce, a to takým spôsobom, že podložka nie je počas navigácie užívateľa osvetlená štruktúrovaným svetlom, ale len projektorom s bielym obrazom. Túto zmenu sme s vedúcim práce uskutočnili po vzájomnej konzultácii. Je odôvodnená nepotrebnosťou štruktúrovaného svetla počas navigačnej fázy a značným zjednodušením tvorby bitovej masky ruky v zábere kamery. Toto svetlo sa využije až po rozpoznaní správneho rozloženia ruky na podložke, kedy osvetlí ruku a zosníma sa obraz, ktorý je ďalej využívaný.

Moja práca, ako už bolo spomenuté, je súčasťou projektu 3D rozpoznávania geometrie ruky. Funkčná vzorka, ktorú projekt využíva je pripojená k riadiacemu počítaču s operačným systémom Microsoft Windows XP, pre ktoré bol dodaný ovládací software k jednotlivým komponentom. Táto funkčná vzorka sa skladá z kovového obalu, projektoru a kamery, ako je možné vidieť na obrázku 3.4.

Funkčná vzorka disponuje štruktúrovaným osvetlením s viacerými svetelnými vzormi, ktoré sa premietajú na podložku LED projektorom značky 3M pripojeným VGA rozhraním. Maximálnym rozlíšením projektoru je 1024 x 768 bodov. Projektor je pripojený k počítaču ako rozšírený monitor s bielym pozadím, slúžiaci ako osvetlenie podložky. Kamera Imaging-Source DKF 72BUC02 je farebné CCD USB snímacie zariadenie zabezpečujúce získavanie obrazu a videosnímkov. Jej maximálne snímacie rozlíšenie je 2592 x 1944 bodov.

Projektor je umiestnený v približne sedemdesiatpäť stupňovom uhle, teda takmer kolmo na podložku. Snímacia kamera je umiestnená kolmo nad podložkou, čo zabezpečuje najvhodnejší pohľad na ruku čo sa týka navigačného programu, konkrétne tvorby bitovej masky. Nevýhodou funkčnej vzorky je však výrazné obmedzenie možnosti detekcie kontaktu ruky z podložkou počas samotnej navigácie.



(a) Zariadenie zvnútra



(b) Zariadenie zvonka

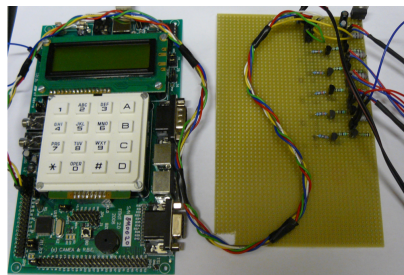
Obrázek 3.4: Funkčná vzorka

3.4 Funkčná vzorka druhej verzie

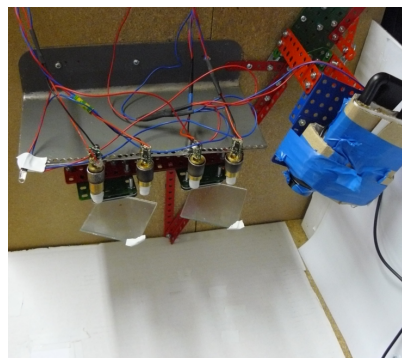
Vo fáze výstavby a doladovania je aj ďalšia funkčná vzorka zobrazená na obrázku 3.5, ktorá však v čase získavania a spracovávaní vzoriek videí a snímok z predošlej verzie nebola hotová. Z toho dôvodu sú všetky testovacie snímky a videá nahrané na pôvodnej funkčnej vzorke, a celá práca je jej prispôbená. Práca s novou verziou už prebieha, pričom sa aktuálne program adaptuje na svetelné podmienky vzorky, ktorá už nie je uzatvorená, ale preniká do nej denné svetlo. V novšej verzii je okrem denného svetla využitý aj iný zdroj. Týmto zdrojom sú LE-diódy emitujúce zelené svetlo. Systém diód v kombinácii s denným svetlom a bielou podložkou, aj pri snímaní farebného obrazu neobsahuje takmer žiadne zložky červenej a modrej farby, a preto je získanie bitovej masky vloženej ruky problematickejšie.

Ďalšou odlišnosťou novej funkčnej vzorky je uhol snímania kamery. Zatiaľčo v prvej verzii bola kamera natočená takmer kolmo na podložku, v systéme spomínanom v tejto kapitole zvierá kamera s podložkou asi 75-stupňový uhol. Vďaka tomu nie sú pozície prstov navzájom rovnaké a už neležia v dopredu určených miestach. Poloha týchto určených miest a ďalších špecifických rozmerov či súradníc, sa však dá prestaviť veľmi jednoducho, a to priamo v programe tak, aby zodpovedala danému nastaveniu kamery.

Najväčšou výhodou novej funkčnej vzorky je spôsob osvetľovania ruky po úspešnom dokončení navigácie. V momente, keď má užívateľ správne umiestnenú ruku v zábere a jednotlivé prsty sú vhodne rozložené, zapne sa štruktúrované osvetlenie podložky a kamera



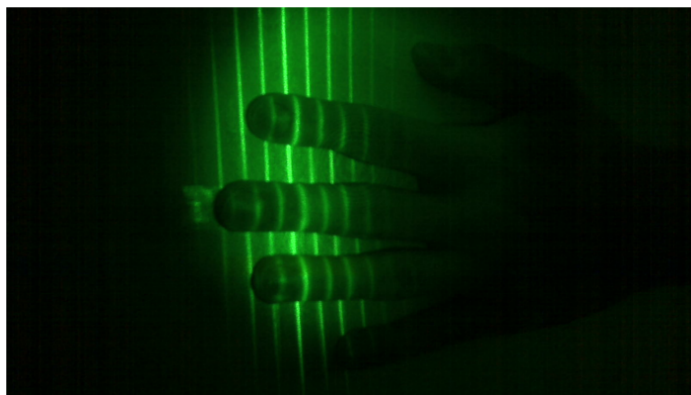
(a) Fitkit a pájacia doska



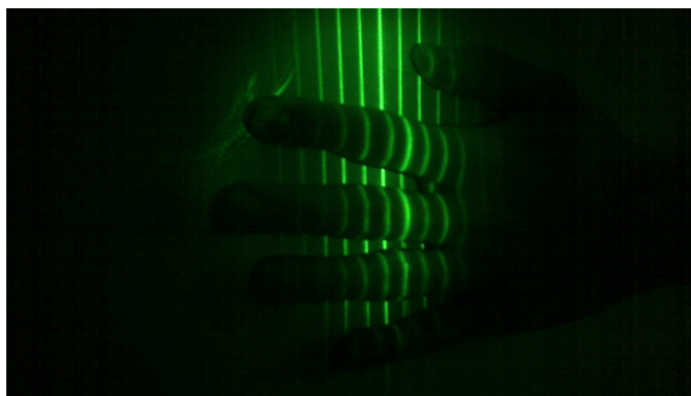
(b) Kamera, lasery, difrakčné mriežky a konštrukcia s podložkou

Obrázek 3.5: Nová verzia funkčnej vzorky

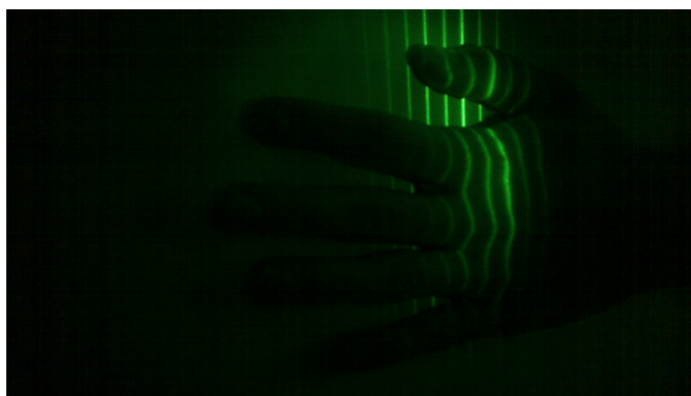
zostáva obraz, ktorý následne postupuje do ďalšieho spracovania v celom procese identifikácie osôb. Štruktúrované svetlo zabezpečujú štyri lasery zelenej farby zobrazené na obrázku 3.6, ktorých lúče prechádzajú cez dve vrstvy difrakčného skla, čím na podložke vznikajú laserové pásy. Keďže z praxe vychádza vlastnosť difrakčných sklíčok, že svetlo je rozložené nerovnomerne, pričom najväčšiu intenzitu má v strede, sú teda jednotlivé diódy umiestnené v rade za sebou tak, aby sa ich vzájomne vznikajúce pruhy prekrývali, a tak vytvárali dojem rovnomerného rozloženia v jednom smere.



(a) Laser 1



(b) Laser 2



(c) Laser 3

Obrázek 3.6: Lasermi osvětlená ruka

Kapitola 4

Návrh a implementácia

V tejto kapitole sa venujem popisu návrhu a postupne objasňujem jednotlivé funkčné časti programu. Mojim cieľom bolo vytvorenie programu, ktorý by fungoval na princípe dostupnej knižnice, kde užívateľ po nainštalovaní potrebných podporných knižníc jednoducho nainštaluje objekt hlavnej triedy. Tento objekt slúži ako rozhranie pre použitie knižnice, teda jednotlivé funkčné časti spolupracujúce na procese detekcie a navigácie užívateľa sú verejnými metódami inštalácie objektu.

Program je implementovaný v jazyku C++ za použitia knižnice OpenCV a vývojového prostredia Eclipse. Hlavný program vykoná potrebné inicializačné kroky, ako spracovanie argumentov, pripojenie príslušného zdroja obrazov, kontrola vstupných dát, nastavovanie premenných potrebných pre určenie rýchlosti prehrávania a vytvorenia grafických prvkov ako okná a posuvníky.

Hlavný program obsahuje cyklus, ktorý postupne získava jednotlivé snímky z kamery či videa a tieto obrazy postupne predáva na ďalšie spracovanie. Okrem spomínaných činností zabezpečuje tento cyklus aj spracovanie vstupného obrazu, a to tak, že orezáva okraje videa nepotrebné pre jeho funkčnosť, teda časti videa, ktoré presahujú podložku, zobrazujú otvor pre ruku, a po dokončení spracovania rozširuje obraz o čierny okraj pre väčšiu prehľadnosť programu.

V hlavnom programe sa vytvorí globálny objekt ruky, pričom tento objekt je jediný zo svojej triedy počas celého behu programu. Funkčné časti sa opakovane spúšťajú v cykle ako metódy tohoto objektu a každá z nich postupne vykonáva ďalšie kroky v spracovaní. Prvým krokom je nájdenie ruky a vytvorenie bitovej masky. Druhým je nájdenie všetkých význačných obrysových bodov ruky, ako sú okraje zápästia, vrcholky prstov a medziprstia, či významné ohyby ruky.

Nasleduje časť navigácie užívateľa, ktorá postupne kontroluje všetky nastavené prahové hodnoty a existenciu či platnosť výsledkov predošlého spracovania. Jej návratovou hodnotou je výsledok zodpovedajúci konkrétnemu stavu či už chybovému alebo nie. Na záver sú využité funkcie, ktoré vykreslia potrebné získané vlastnosti a aj samotný výsledok navigačnej metódy.

4.1 Práca s knižnicou OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) [22] je knižnica programovacích funkcií zameraných predovšetkým na počítačové videnie v reálnom čase, vyvinutá spoločnosťou Intel a aktuálne podporovaná spoločnosťou Willow Garage. Knižnica je voľne dostupná,

spadá pod “BSD license”, a je multiplatformná. Sústreďuje sa primárne na spracovanie obrazu. Ak knižnica nájde integrované výkonové primitívy (anglicky Integrated Performance Primitives), čo je v podstate multivláknová knižnica na prácu s multimédiami, využije tieto proprietárne optimalizované rutiny na svoju akceleráciu.

Samotná knižnica obsahuje viac ako 2500 optimalizovaných algoritmov a je určená pre akademické aj komerčné využitie. Disponuje rozhraním pre jazyky C++, C, Python a v štádiu vývoja je rozhranie pre jazyk Java. Knižnica je podporovaná v operačných systémoch Windows, Linux, Android a Mac.

Knižnica obsahuje viacero modulov, z ktorých program využíva core modul, obsahujúci definície využívaných typov a štruktúr, základné funkcie pre prácu s nimi a mnohé ďalšie, ako napríklad rozhrania k iným jazykom. Ďalším využívaným modulom je Image Processing, teda modul na spracovávanie obrazu poskytujúci rozšírené nástroje a metódy pre jeho úpravu. Posledným využívaným je highgui modul starajúci sa o prvky grafického rozhrania, ako sú okná, posuvníky a spracovanie video vstupov, či už priamo z kamery, alebo z uloženého videa.

Pri svojej práci som využíval dokumentáciu OpenCV dostupnú na [12].

4.2 Umiestnenie ruky

Pri zisťovaní prítomnosti ruky na podložke som najskôr získal jej bitovú masku. Na jej spoľahlivé určenie som využil poznatky o samotnej konštrukcii systému. Podložka, na ktorú je ruka pokladaná je čiernej farby a je osvetlená bielym svetlom, pričom odrazené svetlo je zachytávané kamerou. Kamera sníma farebný obraz, ktorý je uložený v digitálnej podobe ako popis jednotlivých bodov, pričom popis obsahuje intenzity jednotlivých zložiek RGB (aditívneho) farebného modelu. Z teórie vyplýva, že farba pokožky najlepšie odráža svetlo červenej farby, a preto červená zložka teda vykazuje najväčší kontrast s podložkou. Z tohoto dôvodu som použil červenú zložku spracovávaného obrazu pre vytvorenie bitovej masky.

Nasnímaný obraz som rozdelil na tri rovnaké obrazy takým spôsobom, aby každý z nich obsahoval informácie len o jednej farebnej zložke. Druhým krokom bolo nastavenie všetkých hodnôt modrej a zelenej zložky na nulovú, teda najnižšiu hodnotu. Následným opätovným spojením som získal obraz, ktorý už modrú a zelenú farebnú zložku neobsahoval. Upravený obraz som následne previedol do šedotónového modelu, v ktorom už dáta reprezentovala len jedna zložka, a tou je intenzita bielej, u ktorej sa hodnoty pohybujú od 0 do 255.

Pred samotným prahovaním som ešte na obraz aplikoval tzv. blur efekt (Príklad 1), teda postup, pri ktorom sa na každý bod a jeho okolie aplikuje matica zadanej veľkosti, a výsledná hodnota tohoto bodu je ovplyvnená jeho okolím a váhou bodov okolia.

Príklad 1 Blur

$$K = \frac{1}{ksize.width * ksize.height} * \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

Až po tomto spracovaní postupuje obraz na prahovanie (Príklad 2), pri ktorom jednotlivé body naberajú hodnoty 0 alebo 255. Prahová hodnota sa dá prispôbiť tak, aby výsledná bitová maska čo najreálnejšie zobrazovala skutočnú ruku aj pri zmene odtieňa pokožky a svetelných podmienkach.

$$dst(x, y) = \begin{cases} \text{maxVal} & \text{for } src(x, y) > \text{thresh} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

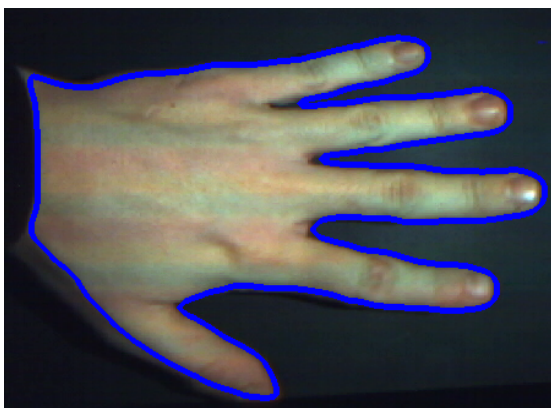
4.3 Nachádzanie význačných bodov ruky

Je zdanlivo jednoduchým úkonom pre človeka pozrieť sa na podložku a v zlomku sekundy vyhodnotiť situáciu, povedať užívateľovi, aby rukou pohl doprava, natočil ju viac doľava, roztiahol prsty ďalej od seba, či poriadne ich vystrel a položil na podložku. Rovnako jednoduché je taktiež okamžite odhaliť výraznú väčšinu pokusov o podvod, ako sú odliatok ruky, či jej fotografia. Pre počítač i kameru sú však tieto informácie skryté, a nie je jednoduché sa priblížiť úrovni rozpoznávacej schopnosti človeka.

U strojov akými sú počítače nie je samozrejmosťou okamžité a automatické rozpoznávanie objektov, ich následná kategorizácia, ani rozpoznanie iných vlastností. Aj počítačové videnie má však mnohé výhody oproti ľudskému. Stroj po vyhľadání zadaných význačností dokáže korektne určiť vzdialenosti, farby a polohy, následne ich uložiť a zapamätať na teoreticky neobmedzenú dobu. Pomocou počítačového videnia môžeme zmerať uhly a polohy bodov meniace sa v čase, z ktorých možno vyvodzovať dynamické biometrické črty, či spozorovať iné neobvyklosti určujúce osobu.

4.3.1 Kontúra ruky

Pre biometrické systémy nevyužívajúce dištančné kolíky je typická interakcia zariadenia s užívateľom. Aby takýto systém vedel zadávať správne pokyny osobám, je nutné zistiť, prečo je ruka na podložke zle umiestnená, a aké kroky sú nutné pre dosiahnutie správneho rozloženia. Na získanie týchto krokov je však nutné poznať, kde sa presne prsty nachádzajú, a v akých sú vzájomných polohách. Či sa ruka nachádza v zábere videa, je možné rozhodnúť podľa výsledku detekcie kontúr, zobrazených na obrázku 4.1. Kontúry som získal pomocou funkcie z knižnice OpenCV a za vstupný obraz som zvolil výsledok predošlého spracovania, a to konkrétne bitovú masku.



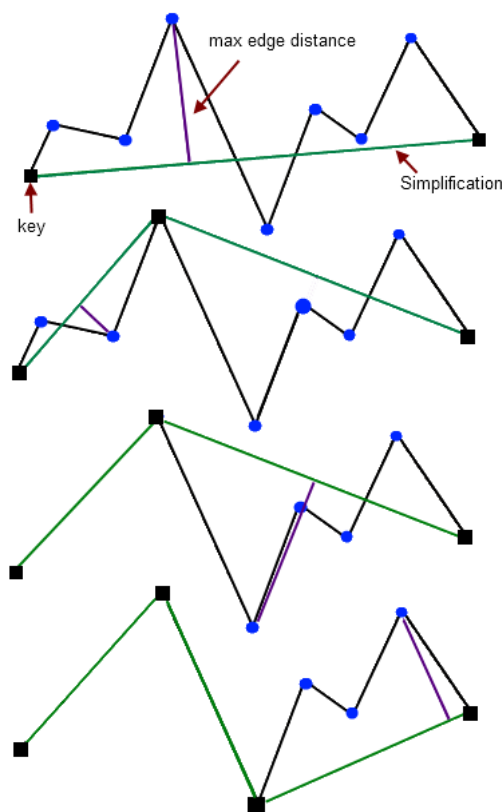
Obrázek 4.1: Kontúra ruky vykreslená do pôvodného obrazu

Samotný systém pre svoju prácu všetky kontúry nepotrebuje. Kontúry sú uložené ako dvojrozmerné pole bodov. Veľkosť poľa prvej úrovne určuje počet nájdených kontúr a po-

ložky poľa druhej úrovne, obsahujúcej konkrétne body, definujú danú kontúru. Mnohými testami som zistil, že v prípade správneho rozloženia ruky je vo veľkej väčšine prípadov celá ruka popísaná jednou kontúrou. Z tohoto dôvodu som sa rozhodol pracovať iba s najväčšou z nájdených kontúr.

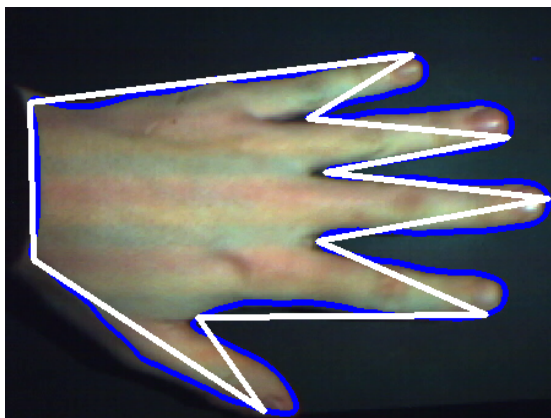
Na samotný výpočet a manipuláciu s takým značným počtom bodov, pri zachovaní rovnakej kvality snímaného videa, by však výpočtový výkon zariadenia musel zodpovedať minimálne bežnému notebooku s novším dvojjadrovým procesorom. Z dôvodu snahy o zníženie nárokov na tento výkon som nahradil využívanú kontúru polynómom, ktorý ju aproximuje so zadanou presnosťou. Samotné aproximovanie vykonáva knižničná funkcia poskytovaná v knižnici OpenCV. Novo vytvorená kontúra, teda polynóm, znížil počet bodov z počtu pohybujúceho sa v ráde niekoľkých stoviek (väčšinou okolo 800) na niekoľko desiatok (okolo 20). Okrem zníženia samotného počtu bodov kontúry sa zmenšili veľkosti aj ďalším vypočítavaným a mnohokrát prechádzaným skupinám bodov. Táto úprava pomohla nielen niekoľkonásobne zrýchliť celkové spracovávanie obrazu, ale aj značne zjednodušila nachádzanie jednotlivých význačných bodov ruky.

Aproximáciu kontúry polynómom obstaráva funkcia `approxPolyDP` pracujúca na princípe Ramer-Douglas-Peuckerovom algoritme zobrazenom na obrázku 4.2. Podľa [5] algoritmus prechádza celú pôvodnú kontúru, a postupne prispôsobuje aproximovanú tak, že do nej zahrňuje všetky body, ktorých vzdialenosť od aktuálnej aproximovanej kontúry je väčšia ako zadaná hodnota presnosti.



Obrázek 4.2: Princíp Ramer-Douglas-Peuckerovho algoritmu [8]

Jedna z kontrol určenia správnosti aproximovaného polynómu, ktorý je možné vidieť



Obrázek 4.3: Pôvodná kontúra ruky spolu s aproximovanou kontúrou

na obrázku 4.3, je porovnanie jeho celkovej dĺžky s hraničnou hodnotou. Keďže je obraz uložený v podobe trojrozmernej matice, pričom jeden rozmer slúži len na uloženie farebných kanálov, samotné body obrazu sú v podstate obyčajnou 2D maticou. Za použitia Pytagorovej vety o pravouhlom trojuholníku je možné vypočítať vzdialenosť ľubovoľných 2 bodov, kde dĺžky strán tohoto trojuholníka zvierajúce pravý uhol, sú absolútnymi rozdielmi x-ových a y-ových hodnôt jednotlivých bodov. Týmto spôsobom sa dá jednoducho určiť dĺžka akejkoľvek množiny bodov. Kontrola je potrebná, pretože v prípadoch, keď sa ruka nenachádza celá v zábere, najväčšia zo skupiny kontúr nepokrýva spoľahlivo celú ruku, teda prvý a posledný bod nie sú totožné. V tomto prípade však aproximačná funkcia zlyháva, pretože vykonáva spätný návrat bodmi kontúry až k jej počiatku, teda polynóm aproximuje kontúru dvakrát. Keď však celková dĺžka prekročí povolenú hodnotu, považuje sa polynóm za neplatný, rovnako ako celé rozloženie ruky.

4.3.2 Nachádzanie prstov

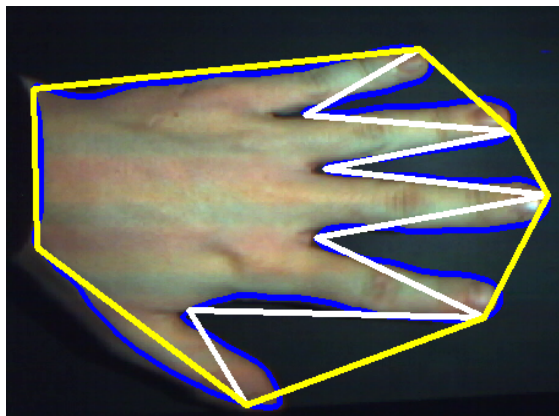
Dôležitým krokom pri určovaní polôh prstov bolo okrem predchádzajúceho nájdenia aproximovanej kontúry aj vytvorenie akéhosi ohraničenia tohoto vzniknutého polynómu. Ako vhodný a efektívny prístup som zvolil použitie funkcie z knižnice OpenCV, ktorá vytvorí takzvanú konvexnú škrupinu (anglicky convex hull) okolo aproximovanej kontúry, uvedenú na obrázku 4.4. Aby hľadanie mohlo pokračovať ďalej, musí táto škrupina obsahovať presne 7 bodov, teda 2 body označujúce zápästie a 5 bodov určujúcich špičky prstov.

Nájdenie konvexnej škrupiny vykonáva funkcia `convexHull`, využívajúca Skanského algoritmus. Skanského algoritmus po označení všetkých bodov polynómu prejde metódou troch mincí každý z nich, a z novovytvoreného polynómu odstraňuje postupne nevyhovujúce body.

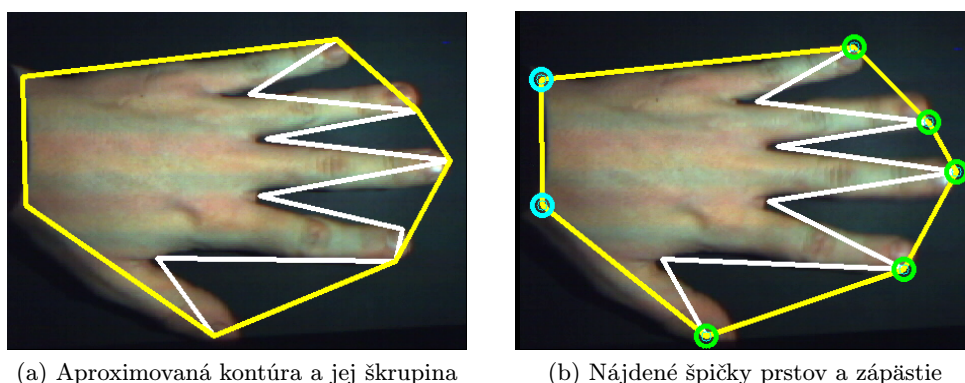
V procese zisťovania rozloženia ruky je ďalším krokom v poradí nachádzanie zápästia. Aproximovaná kontúra nám popisuje oblasť ruky, a konvexná škrupina ju obkolesuje tak, že body ohybov škrupiny sú podmnožinou bodov aproximovanej kontúry. Keďže svetlo dopadajúce na podložku a ruku, a vytvára relatívne rovné hrany medzi osvetlenými a neosvetlenými oblasťami. Škrupina aj aproximovaná kontúra označujú stranu, odkiaľ sa vkladá ruka do zariadenia iba dvomi bodmi. Zápästím teda označíme dva body, ktoré ležia najbližšie k otvoru.

Nasleduje určovanie špičiek prstov. Postupným porovnávaním bodov škrupiny so zápäs-

tím a ostatnými bodmi navzájom program určí, ktorý bod škrupiny zastupuje konkrétny prst. Výsledky určovania je možné vidieť na obrázku 4.5.



Obrázek 4.4: Pôvodná kontúra ruky spolu s aproximovanou kontúrou a konvexnou škrupinou



(a) Aproximovaná kontúra a jej škrupina

(b) Nájdené špičky prstov a zápästia

Obrázek 4.5: Proces nachádzania špičiek prstov a zápästia

Každý človek však má iné rozmery šírky, dĺžky a rozostupu prstov, rovnako ako šírku dlane a zápästia. Veľkosť ruky závisí aj od pohlavia, či vzhľadu užívateľa. Je všeobecne známe, že mužské pohlavie má v priemere väčšiu ruku ako ženské, a že jednotlivec veľkého vzhľadu má zväčša väčšiu ruku, než jednotlivec menšieho vzhľadu. Z tohoto dôvodu je hodnota presnosti nastaviteľná počas behu programu posuvníkom. Ten využíva verejnú metódu objektu ruky (Príklad 3), ktorá hodnotu s každým novospracovávaným obrazom nastaví.

Aproximovaná kontúra má nastavenú počiatočnú hodnotu presnosti na 30 bodov, čo je experimentálne získané číslo, kedy od seba vzdialené prsty sú vo väčšine prípadov označené jedným vrcholovým bodom a aspoň jedným bodom označujúcim medziprstie či niektorý z bodov zápästia. V prípade, keď sú dva či viac susediacich prstov spojené, každému prstu je priradený jeden bod označujúci špičku prstu, no bod označujúci medziprstie neexistuje a jeho príznak platnosti je nepravdivý. V prípade výrazného rozdielu vo veľkosti ruky oproti štandardu stačí program jednoducho manuálne prispôsobiť využitím posuvníka.

Posledným úkonom pri získavaní informácií o rozložení je nájdenie polohy medziprstia. Keďže jednotlivé prsty sú uložené v poli objektov triedy **Finger** ktoré ruka obsahuje,

Príklad 3 Algoritmus nachádzania prstov

```
find_Contours(); // najdenie kontur v bitovej maske
// nasledna kontrola existencie kontur
if(contours.size() == 0) {State = false; return;}

find_biggest_contour(); // najdenie najvacsej kontury
aproximate_contour(); // ziskanie aproximovanej kontury
// kontrola dlzky aproximovanej kontury
if(length_of_aproxed_cont() > 2200) {State = false; return;}
find_Hull(); // najdenie konvexnej skupiny

find_wrist(); // najdenie bodov zapastia
if(count_fingers() == 5) // overenie poctu prstov
{
    find_all_fingers(); // najdenie prstov v obraze
    fill_fingers_objects(); // naplnenie struktur prstov datami
    find_defects(); // najdenie medziprsti
}
return;
```

nachádzajú sa v objektoch aj ďalšie informácie potrebné pre jednoduchšie nachádzanie medziprstí. Pomocou nich sa obmedzuje počet bodov nutných pre kontrolu. Medziprstie sa vždy nachádza len medzi dvoma prstami. Využil som aproximovanú kontúru, pričom algoritmus prechádza všetky jej body medzi dvoma špičkami prstov a vyberie ten so zadanou vlastnosťou.

Zadanou vlastnosťou sa myslí najväčšia kolmá vzdialenosť bodu od priamky definovanej špičkami susediacich prstov. Program teda hľadá výšku trojuholníka, pričom dva body sú špičkami susedných prstov a tretím je aktuálne skúmaný bod. Knižnica OpenCV síce obsahuje funkciu, ktorá dokáže vypočítať hľadaný bod na základe veľmi podobnej vlastnosti, no nie celkom ideálne. Táto knižnica síce podporuje viacero jazykov, avšak rozhranie pre danú funkciu neexistuje v jazyku C++. Jej použitie za pomoci rozhrania pre jazyk C je možné, no je však veľmi neefektívne.

Spomínaný bod medzi každými dvoma prstami nemusí vždy existovať, pretože sa jedná len o aproximovaný polynóm, a preto obsahuje každý objekt medziprstia príznak svojej platnosti, či inak povedané, existencie. Nájdene body sú uložené v objektoch triedy **Defect**, ktoré objekt ruky obsahuje ako svoje vlastnosti.

4.4 Navigácia ruky

Rozhranie medzi človekom a prístrojom je v biometrických systémoch častokrát obojsmerné. Užívateľ po zadaní biometrickej vzorky do systému potrebuje poznať výsledok a stav prebiehajúcej operácie, či už ide o registráciu novej osoby, identifikáciu, verifikáciu alebo usmerňovanie a navádzanie potrebné pre získanie kvalitných a relevantných dát. V prípade našej funkčnej vzorky, ktorá nevyužíva dištančné kolíky pre obmedzenie pohybu užívateľovej ruky a pevné určenie význačných kontrolných bodov ruky, je potrebné užívateľa postupne doviesť

ku správne mu rozloženiu ruky v zábere.

Navigačná sekcia obsahuje postupnosť krokov (Príklad 4), z ktorých každý v prípade neúspechu vráti informáciu o chybe a ukončí navigačnú sekciu. Týmto spôsobom je zabezpečená istá hierarchia a prioritnosť chýb v zmysle prednostnej kontroly podľa umiestnení v zdrojovom kóde. Hlavný objekt triedy **Hand** vytvárajúci rozhranie pre prácu s funkčnými časťami programu obsahuje stavovú premennú **State** typu **bool**, ktorej zmenu logickej hodnoty má plne v réžii samotný objekt, teda je privátna, no jej stav je prístupný cez verejnú metódu **getState()**. Spolu s hodnotou stavovej premennej a návratovou hodnotou má hlavný program prístup ku všetkým informáciám nevyhnutným pre určenie stavu ruky, ako aj kódu príkazu pre užívateľa.

Stavovú premennú využíva aj samotný navigačný mechanizmus (Príklad 4) determinujúci konkrétny krok upravujúci polohu ruky. Stavovou premennou sa signalizujú chyby v predošlom nachádzaní význačných bodov ruky, teda v prípade jej nepravdivosti sa navigačný blok nemôže spoľahnúť na správne nájdené špičky prstov, medzi prsty, body vyznačujúce zápästia a ďalšie informácie. Preto sa v tomto prípade neprevádzajú všetky polohu určujúce kroky.

Príklad 4 metóda **Navigate()**

```
//stav ruky v poriadku
if(State){
    check_borders(); // kontrola ci ruka nepresahuje okraj
    check_defects(); // overenie existence medzi prsty
    check_distances(); // kontrola vzajomnych vzdialenosti
    check_fingers_position(); // overenie pritomnosti
                        // prstov v urcenom priestore
    return result;
}
// snaha ziskat navigacne kroky z kontury
else if(get_navigation_form_contour() != -1){
    return result;
}
//neschopnost navigacie
else {return -1;} // nemoznost navigacie
```

Kontrola prevádzaná nezávisle od hodnoty stavovej premennej spočíva v prechádzaní všetkých bodov kontúry a kontrolovaní ich pozícií, ktorú zaobstaráva metóda **check_borders** (Príklad 5). Každý bod je porovnávaný s hraničnými hodnotami a pri ich prekročení ktorýmkoľvek bodom sa okamžite ukončí navigačná časť, a predá sa návratová hodnota, ktorá určí smer pohybu ruky. V prípade, že stavová premenná je nepravdivá, môže táto kontrola prebehnúť len za splnenia podmienky existencie kontúry a jej nenulovej veľkosti. Ak žiadny z bodov neprekročil stanovenú prahovú hodnotu, vráti sa výsledok signalizujúci správne umiestnenie kontúry v obraze, no celkový stav závisí aj na spomínanej stavovej premennej. Z toho dôvodu je celkový stav ruky chybný.

Platnosť stavu objektu poskytuje rozšírené možnosti detekcie polohy ruky a aktuálneho rozloženia zahrňujúce overovania správnej polohy jednotlivých špičiek prstov, medzi prsty, zápästia či vzdialeností medzi jednotlivými bodmi. Rovnako ako v prípade neplatného stavu

Príklad 5 metóda `check.borders()`

```
//kontrola vsetkych bodov najvacsej kontury
for(int i = 0; i < (int)contours[big].size(); i++){
    // kontrola horneho okraju
    if(contours[big][i].y < up_limit) { State = false; return 1; }
    // kontrola horneho dolneho
    if(contours[big][i].y > down_limit) { State = false; return 2; }
    // kontrola horneho laveho
    if(contours[big][i].x < left_limit) { State = false; return 3; }
    // kontrola horneho praveho
    if(contours[big][i].x > right_limit) { State = false; return 4; }
}
return 0;
```

sa ako prvé kontrolujú okraje relevantnej časti videa, teda prítomnosť celej kontúry vo vnútri vytýčeného priestoru. Narozdiel od prvého prípadu sa po úspešnom skončení tejto kontroly stav naďalej považuje za správny a program spúšťa ďalšie kontroly.

Prvou kontrolou pri pravdivej hodnote stavovej premennej objektu, ktorá sa v neplatnom stave nevykonáva, je kontrola všetkých objektov medzi prstí, ktorú vykonáva funkcia `check_defects` (Príklad 6). Medziprstia implementované ako objekty sa narozdiel od špičiek prstov v aktuálnom snímku nachádzať nemusia. Pri nesprávnom počte detekovaných prstov sa ďalšie hľadanie význačných bodov zastaví a celý objekt ruky sa okamžite stane neplatným. V prípade, ak sú však špičky nájdené správne, no prsty sú spojené či príliš blízko seba navzájom, aproximačný polynóm tieto body v kontúre vynechá. Rovnako ako celá ruka, majú aj jednotlivé objekty medzi prstia príznak platnosti, či v tomto prípade existencie. Jednoduchým overením tohoto príznaku program overuje či sú dva, alebo viacero susedných prstov spojených a prípadný chybový kód je bezprostredne po odhalení zaslaný hlavnému programu.

Príklad 6 metóda `check_defects()`

```
//kontrola platnosti vsetkych medziprsti
for(int i = 0; i < 4; i++){
    if(!defect->at(i).exists) { State = false; return i+5; }
    // vrati index neplatneho medziprstia
}
return 0;
```

Rozdiely vo veľkosti celej ruky, dĺžkach prstov a ich tvare medzi jednotlivými užívateľmi zabraňuje systému v použití prístupu, ktorý by kontroloval presné umiestnenie prstov. Namiesto toho program porovnáva polohy všetkých špičiek prstov s rozmedzím polôh, ktoré danej špičke prináležia. Ak niektorá špička prstu nespadá do určeného rozmedzia, stav ruky je opäť zneplatnený a užívateľ je vyzvaný k náprave, teda umiestneniu špičky prsta do vyhradeného priestoru. Ich veľkosť a poloha sú určené tak, aby akákoľvek osoba, či už s veľkou alebo malou rukou, bez väčších problémov mohla prsty do stanovených polôh umiestniť.

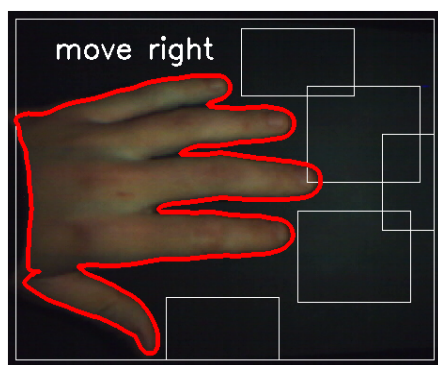
Posledným úkonom je výpočet viacerých vzdialeností pomocou metódy `check_distances()` (Príklad 7), pomáhajúcich do viesť ruku k požadovanému rozloženiu na podložke. Aj napriek existencii medziprstia medzi dvoma prstami a umiestnení ich špičiek v požadovaných rozmedziach, sa však môže stať, že prsty od seba nie sú rozťahnuté dostatočne. Polohy určené pre špičky sú totiž príliš blízko pri sebe, aby aj človek s malou rukou dokázal dané podmienky splniť. Rovnako, ako sa počítala dĺžka aproximovanej kontúry sa teda postupne vypočítajú vzdialenosti jednotlivých špičiek.

Rovnako dôležitými sú aj vzdialenosti medzi prstami a medziprstiami (Príklad 7), pretože v kombinácii so vzdialenosťou špičiek sa dá jednoznačne determinovať, či sú prsty naozaj správne natiahnuté a dostatočne od seba vzdialené. Najlepším príkladom, na ktorom je to možné demonštrovať je poloha palca a ukazováka. Ich vzdialenosť môže byť síce dostatočná a môže byť odhalený aj bod medziprstia, no palec napriek tomu môže s ukazovákam zviazať veľmi ostrý uhol nevhodný pre nasledujúce detekčné kroky, ktoré funkčná vzorka vykonáva.

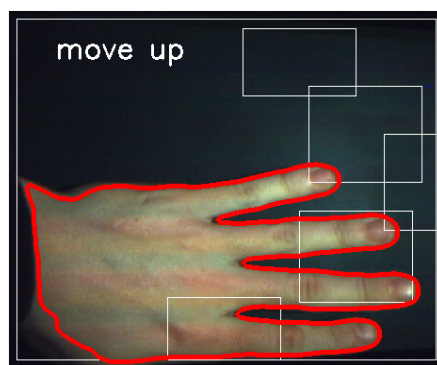
Príklad 7 metóda `check_distances()`

```
// kontrola vzdialenosti prstov 0 a 1, a vzdialenost od ich medziprstia
if( (point_distance(finger->at(0).tip , finger->at(1).tip) < 50) ||
    (point_distance(finger->at(0).tip , defect->at(0).def) < 60) ||
    (point_distance(finger->at(1).tip , defect->at(0).def) < 70) ){
    State = false; return 5;
}
// kontrola vzdialenosti prstov 1 a 2, a vzdialenost od ich medziprstia
if( (point_distance(finger->at(1).tip , finger->at(2).tip) < 50) ||
    (point_distance(finger->at(1).tip , defect->at(1).def) < 70) ||
    (point_distance(finger->at(2).tip , defect->at(1).def) < 70) ){
    State = false; return 6;
}
// kontrola vzdialenosti prstov 2 a 3, a vzdialenost od ich medziprstia
if( (point_distance(finger->at(2).tip , finger->at(3).tip) < 40) ||
    (point_distance(finger->at(2).tip , defect->at(2).def) < 70) ||
    (point_distance(finger->at(3).tip , defect->at(2).def) < 70) ){
    State = false; return 7;
}
// kontrola vzdialenosti prstov 3 a 4, a vzdialenost od ich medziprstia
if( (point_distance(finger->at(3).tip , finger->at(4).tip) < 50) ||
    (point_distance(finger->at(3).tip , defect->at(3).def) < 100) ||
    (point_distance(finger->at(4).tip , defect->at(3).def) < 70) ){
    State = false; return 8;
}
return 0;
```

Program je schopný detekovať neprítomnosť celej ruky v zábere kamery, teda rozpoznať prekročenie jednotlivých strán, rovnako dokáže rozpoznať spojenie dvoch či viacerých prstov a prítomnosť špičiek v určených miestach. Niektoré z detekovaných stavov sú znázornené na obrázku 4.6.



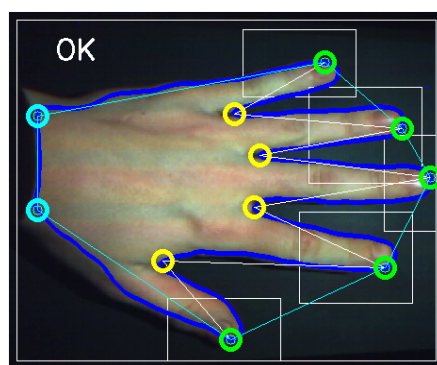
(a) 1. Príkaz pohnutia ruky vpravo pri vkladani ruky do záberu kamery



(b) 2. Príkaz posunutia ruky smerom hore



(c) 3. Poloha prstu mimo vyznačené miesto



(d) 4. Správne rozloženie ruky

Obrázek 4.6: Proces navigácie užívateľa

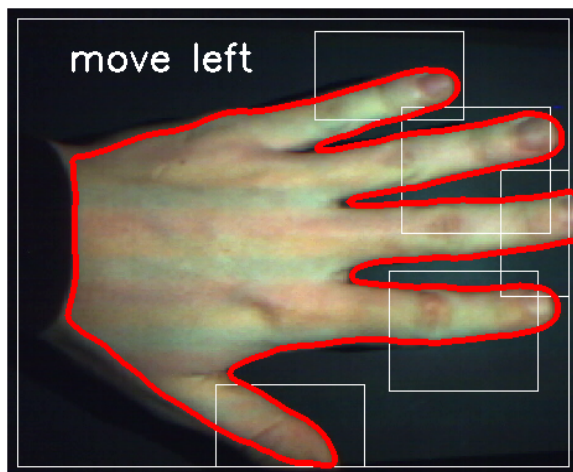
4.5 Predávanie príkazov a zobrazenie dostupných informácií

Spracovanie výsledkov z navigačnej časti programu zaobstaráva hlavný cyklus programu, ktorému je predaná návratová hodnota. Výsledky navigácie sú následne použité ako vstup funkcie `draw_results(int)`, vykresľujúcej do obrazu príkazy v jednoduchnej textovej forme.

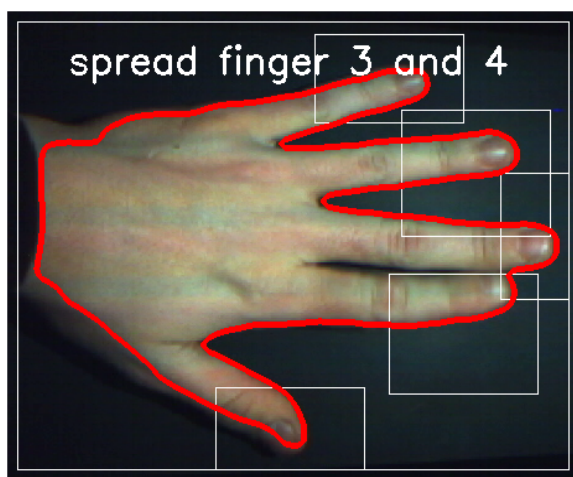
Druhá vykresľovacia funkcia, `draw()`, slúži na zobrazenie všetkých podstatných získaných poznatkov o ruke v aktuálne spracovávanom obraze. Bez ohľadu na stav ruky sú najprv do obrazu vykreslené rámce ohraničujúce oblasti výskytu využívané pri kontrole polohy špičiek prstov ruky. Následne sú rovnakým spôsobom vyznačené aj obdĺžniky, z ktorých jeden definuje okraj spracovávaného videa a druhý označuje vonkajší rámec využívaný pri kontrole okrajových polôh všetkých bodov určujúcich kontúru.

Kontúra ruky je taktiež zobrazovaná nezávisle od hodnoty stavovej premennej, naopak, vstupný parameter farby je nastavený s ohľadom na túto hodnotu. V prípade nepravdivej hodnoty stavu je tento úkon posledným v popisovanej funkcii.

Podmienkou nasledujúceho priebehu vykresľovania je okrem platnosti stavu aj nenulová veľkosť poľa kontúr. Program pokračuje vo vykreslení aproximovanej kontúry a konvexnej škrupiny, a nasleduje časť, ktorá obsahuje kontrolu na počet prstov. V prípade správneho počtu nájdených prstov sú vykreslené body špičiek prstov, platné body medziprstí a body označujúce zápästie.



(a) Príkaz pohnutia ruky vľavo



(b) Príkaz roztiahnutia prostredníka a malíčka

Obrázek 4.7: Proces navigácie užívateľa

Príkazy, ako vidieť na obrázku 4.7, sú užívateľovi vypísané v anglickom jazyku a patria medzi ne:

- *move up* - pre posun ruky nahor,
- *move down* - pre posun ruky nadol,
- *move right* - pre posun ruky doprava,
- *move left* - pre posun ruky doľava,
- *spread finger 1 and 2* - pre roztiahnutie malíčku a prstenníku,
- *spread finger 2 and 3* - pre roztiahnutie prstenníku a prostredníka,
- *spread finger 3 and 4* - pre roztiahnutie prostredníka a ukazováku,
- *spread finger 4 and 5* - pre roztiahnutie ukazováku a palca,

- *finger 1 not in place* - pre oznámenie o neprítomnosti malíčku vo vyhradenom priestore,
- *finger 2 not in place* - pre oznámenie o neprítomnosti prstenníku vo vyhradenom priestore,
- *finger 3 not in place* - pre oznámenie o neprítomnosti prostredníka vo vyhradenom priestore,
- *finger 4 not in place* - pre oznámenie o neprítomnosti ukazováku vo vyhradenom priestore,
- *finger 5 not in place* - pre oznámenie o neprítomnosti palca vo vyhradenom priestore,
- *another problem* - pre označenie neznámej príčiny problému,
- *unable to navigate* - pre neschopnosť navigácie,
- *OK* - pre správne rozloženie.

4.6 Ovládanie programu

Program je implementovaný ako konzolová aplikácia. Na jej úspešné preloženie je potrebné mať nainštalované knižnice OpenCV. Pred samotným spustením je potrebné rozbalíť príslušnú zložku *Navigate* obsahujúcu adresár `src` so zdrojovými kódmi, a zložku *Debug*, v ktorej sa nachádza `makefile`, prekladom generované súbory a spustiteľná aplikácia. Aplikáciu je potrebné preložiť príkazom `make` bez ďalších parametrov.

Aplikácia sa spúšťa s trojicou možných parametrov. Prvým z nich je parameter `help` vypisujúci nápovedu. Druhým je parameter `-f file` nasledovaný umiestnením vstupného videosúboru, a posledným je `-d device` zadávaný spolu s číslom pripojeného snímacieho zariadenia.

Počiatkové umiestnenia posuvníkov sú nastavené na východzie hodnoty, s ktorými program pracuje. Prvým posuvníkom sa nastavuje presnosť aproximačného polynómu, ktorú je potrebné upraviť podľa veľkosti užívateľovej ruky. Východzie nastavenie má takú hodnotu, aby bolo možné spracovávať ruky priemerne veľkých rozmerov. Pre zefektívnenie nachádzania význačných bodov a následnú navigáciu je však vhodné danú hodnotu upraviť tak, aby čo najlepšie odlišovala jednotlivé vrcholy prstov a medziprstia testovanej osoby.

Druhým posuvníkom sa nastavuje hodnota prahovania, na základe ktorej je vytvorená bitová maska. Vykresľovaná kontúra presne ohraničuje oblasť bitovej masky, a preto je potrebné túto hodnotu upraviť podľa aktuálnych svetelných podmienok. Táto hodnota, rovnako ako vyššie spomínaná presnosť aproximácie, je vo počiatkovom nastavení určená tak, aby priemernému užívateľovi bola táto bitová maska vytvorená čo najsprávnejšie.

Pre testovacie účely existuje aj tretí, nepoužívaný posuvník určujúci rýchlosť prehrávania videosúboru. Ak je táto rýchlosť nastavená na hodnotu 5, teda východziu, nieje prehrávanie nijako ovplyvnené. Ak je táto hodnota vyššia, rýchlosť prehrávania sa znižuje, a naopak. Ak má rýchlosť prehrávania nulovú hodnotu, video sa neprehráva a ďalší obraz sa spracováva až po stlačení klávesy.

Východzie hodnoty sú získané odhadom najideálnejších výsledkov v testovacích vzor-
kách.

4.7 Možné pokračovanie

V budúcnosti by systém mohol disponovať zvukovým či iným signalizačným zariadením, napríklad LCD displejom, pomocou ktorého by boli užívateľovi zdeľované príkazy a úkony slúžiace na interakciu s užívateľom. Zaujímavou sa tiež javí možnosť využitia dotykového displeja s grafickým rozhraním pre priame zadávanie nastavení. V súčasnej verzii programu je grafické rozhranie tvorené oknom obsahujúcim dvojicu posuvníkov. S využitím dotykového displeja by zanikla potreba hlavného displeja a ovládacích prvkov ako klávesnica či myš. Celý systém by následne mohol byť integrovaný do jedného kompaktného zariadenia.

Nemenej náročnou úlohou by bola implementácia sekcie programu zabezpečujúcej odhalenie podvrhov a falzifikátov ešte pred ukončením navigačnej časti. Medzi využívané falzifikáty sa radia fotografie rúk na podložke s celkovými svetelnými podmienkami napodobujúcimi vnútro funkčnej vzorky. Na vyriešenie spomínaného problému by bolo vhodné použiť dištančný senzor, kontrolovať nemennú vzájomnú polohu bodov kontúry, alebo použiť štruktúrované osvetlenie v závislosti na použitej fotografii.

Ďalším typom podvrhov je umelá ruka, respektíve použitie odliatku ruky. Tento typ by mohol byť riešený rovnako ako predošlý, teda porovnaním nemennosti vzájomných vzdialeností bodov kontúry.

Medzi neposledné rozšírenia by som uviedol možnosť konfigurácie programu na prácu s premenlivým počtom prstov, teda spoľahlivo obsluhovať prípady chýbajúceho prstu, jeho časti, či dokonca viacerých prstov. Vzhľadom k požadovanej spoľahlivosti má veľké percento ľudí určitým spôsobom neobvyklú, či priemeru sa vymykajúcu geometriu ruky. Preto práve toto rozšírenie považujem za najdôležitejšie, najakútnejšie a zároveň nepostrádateľné pri snahe o nasadenie systému do prevádzky v podnikovej sfére.

Kapitola 5

Testovanie

Cieľom programu je naviesť užívateľa k správne rozloženiu ruky na podložke. Správnym rozložením sa myslí umiestnenie ruky od špičiek prstov až po zápästie v zábere kamery a jej osvetlenie projektorom. Podmienkou je ruka položená na podložke, prsty natiahnuté a v dostatočnej vzdialenosti od seba.

Z pohľadu testovania neexistujú presne stanovené metriky, ktoré by dostatočne popisovali schopnosť programu rozlíšiť správny a nesprávny stav ruky. Neexistuje exaktne určená minimálna vzdialenosť špičiek, či ich presná pozícia. Rovnako nie je známa ani minimálna požadovaná dĺžka prstov, po ktorej dosiahnutí je prst považovaný za natiahnutý. Keďže neexistuje ani program, ktorý by daný snímok vyhlásil za vyhovujúci, či zhodnotil mieru správnosti rozloženia ruky, určí sa korektné rozloženie odhadom.

Na testovacie účely som získal päťdesiat videosekvencií zosnímaných na riadiacom počítači, pričom som využil originálny nahrávací software dodaný spolu s ovládačmi pre kameru. Videosekvencie boli zosnímané piatim ľuďom, pričom od každého účastníka bolo získaných desať videosnímkov. Vek osôb zapojených do testovania bol v rozsahu od dvadsať do tridsať rokov a všetci účastníci boli mužského pohlavia. Každému z participantov bola pred samotným snímaním videa skontrolovaná ruka na prítomnosť všetkých prstov a veľmi význačných geometrických anomálií.

Každý užívateľ bol požiadaný o poskytnutie piatich videonahrávok, ktoré boli následne rozdelené na dve časti za pomoci videoeditoru **Avidemux**. Avidemux je voľne prístupný (GNU GPL licencia) video editor navrhnutý na jednoduché orezávanie, filtrovanie, úpravu kódovania a ďalšie manipulácie mnohých video formátov.

Výrazná väčšina z videosnímkov obsahovala sekvenciu vkladania ruky do záberu kamery alebo jej odnímanie, čo sú z hľadiska testovania odhalenia neprítomnosti ruky a jej neúplného zobrazenia ekvivalentné sekvencie.

5.1 Výsledky testov

Program spracoval päťdesiat videosekvencií s približnou dĺžkou pätnásť sekúnd. Počet spracovávaných obrazov bol celkovo 5392, z čoho počet chybné odmietnutých símkov bol 130 a počet chybné prijatých snímkov 39. Jednotlivé výsledky užívateľov sú zobrazené v tabuľkách 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 a súhrnné výsledky sú v tabuľke 5.6.

Zosumarizované výsledky jednotlivých testovaných osôb je možné vidieť na grafe 5.1. Z týchto výsledkov som zistil, že pravdepodobnosť chybného odmietnutia je 2,41%, pravdepodobnosť chybného prijatia je 0,72% a pomer správne určených snímkov je 96,87%.

Videosnímky	snímok 1	snímok 2	snímok 3	snímok 4	snímok 5
Chybne odmietnuté	2	0	1	0	1
Chybne prijaté	0	0	0	0	0
Správne	23	31	137	135	70
Celkovo	25	31	138	135	71
Videosnímky	snímok 6	snímok 7	snímok 8	snímok 9	snímok 10
Chybne odmietnuté	0	0	0	1	0
Chybne prijaté	0	0	0	0	0
Správne	80	72	59	42	43
Celkovo	80	72	59	43	43

Tabulka 5.1: Výsledky užívateľa 1

Videosnímky	snímok 1	snímok 2	snímok 3	snímok 4	snímok 5
Chybne odmietnuté	12	7	7	0	0
Chybne prijaté	2	0	0	0	0
Správne	126	110	100	87	112
Celkovo	140	117	107	87	112
Videosnímky	snímok 6	snímok 7	snímok 8	snímok 9	snímok 10
Chybne odmietnuté	0	10	11	19	14
Chybne prijaté	0	0	0	12	1
Správne	108	141	122	200	145
Celkovo	108	151	133	231	160

Tabulka 5.2: Výsledky užívateľa 2

Videosnímky	snímok 1	snímok 2	snímok 3	snímok 4	snímok 5
Chybne odmietnuté	0	0	0	19	1
Chybne prijaté	0	0	0	0	0
Správne	116	111	109	88	79
Celkovo	116	111	109	107	80
Videosnímky	snímok 6	snímok 7	snímok 8	snímok 9	snímok 10
Chybne odmietnuté	0	0	0	0	0
Chybne prijaté	0	0	0	0	0
Správne	94	91	104	151	93
Celkovo	94	91	104	151	93

Tabulka 5.3: Výsledky užívateľa 3

5.2 Zhodnotenie dosiahnutých výsledkov

Navigačný program bol od počiatku navrhovaný tak, aby bol schopný spoľahlivo a rýchlo nájsť všetky existujúce význačné body ruky, na ich základe vykonať analýzu stavu polohy a do viesť užívateľa ku správne rozloženiu ruky na podložke.

Z hľadiska rýchlosti spracovávanía videovstupov môžeme povedať, že program príjemne

Videosnímky	snímok 1	snímok 2	snímok 3	snímok 4	snímok 5
Chybne odmietnuté	0	0	0	0	0
Chybne prijaté	0	0	0	0	0
Správne	121	74	103	139	186
Celkovo	121	74	103	139	186
Videosnímky	snímok 6	snímok 7	snímok 8	snímok 9	snímok 10
Chybne odmietnuté	0	0	0	0	0
Chybne prijaté	0	0	0	0	0
Správne	145	117	91	105	106
Celkovo	145	117	91	105	106

Tabulka 5.4: Výsledky užívateľa 4

Videosnímky	snímok 1	snímok 2	snímok 3	snímok 4	snímok 5
Chybne odmietnuté	8	0	0	6	3
Chybne prijaté	0	6	0	3	0
Správne	91	159	122	99	75
Celkovo	99	165	122	108	78
Videosnímky	snímok 6	snímok 7	snímok 8	snímok 9	snímok 10
Chybne odmietnuté	2	3	5	0	0
Chybne prijaté	0	0	0	15	0
Správne	94	105	92	114	98
Celkovo	96	108	97	129	98

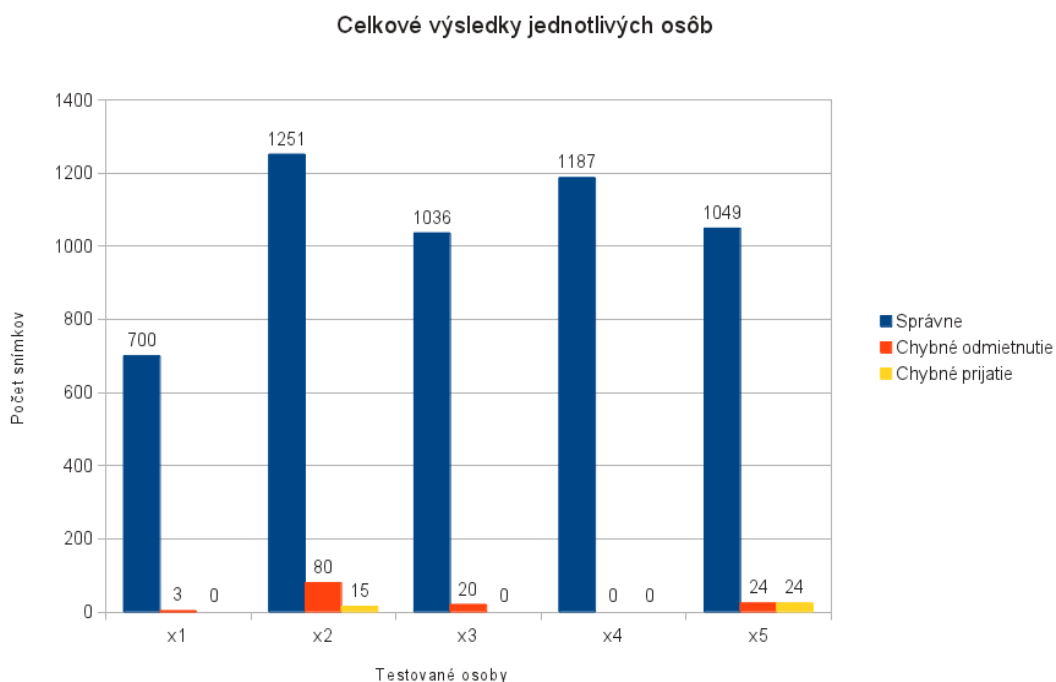
Tabulka 5.5: Výsledky užívateľa 5

Testované osoby	x1	x2	x3	x4	x5
Chybne odmietnuté	3	80	20	0	27
FAR	0	15	0	0	24
Správne	700	1251	1036	1187	1049
Celkovo	703	1346	1056	1187	1100

Tabulka 5.6: Celkové výsledky

prekvapil rýchlosťou spracovania jednotlivých obrazov. Taktiež je schopný spracovávať bez oneskorenia na testovanom počítači farebné videosnímky 20-25 FPS (obrazov za sekundu) pri rozlíšení 720 x 480 bodov. V porovnaní so skôr testovanými prístupmi získavania bitovej masky zo záberu ruky osvetlenej štruktúrovaným osvetlením došlo k značnému urýchleniu spracovania a zjednodušeniu extrakcie. Rovnako aj upravenie návrhu týkajúce sa využitia aproximačného polynómu prispelo k uľahčeniu celkového postupu nachádzania význačných bodov ruky a k zrýchleniu samotného vykonávania týchto krokov.

Pozitívnym faktom je jednoduchosť ovládania programu a nepotrebnosť zložitej inicializácie či štúdia mnohých parametrov. Ako vstup programu môže slúžiť funkčnou vzorkou nahraný videozáznam použitý v prípade testovania, alebo priame pripojenie sa ku kamere pomocou čísla zariadenia.



Obrázek 5.1: Zosumarizované výsledky jednotlivých osôb

Požiadavkou na program je predovšetkým jeho spoľahlivosť, kedy je pre ďalšie spracovanie oveľa prijateľnejší a vhodnejší prístup viacnásobného odmietnutia správneho rozloženia ruky, ako rýchla detekcia snímkov, ktorých stav nieje dostatočne overený a potvrdený. Pri vyhlásení nevhodného snímku za vyhovujúci môže dôjsť k neschopnosti činnosti ďalších spracovávajúcich fáz, a teda zlyhaniu systému. V lepšom prípade, môže dôjsť k odhaleniu chyby nasledujúcimi časťami tohoto systému a nutnosti opätovného poskytnutia vzoriek.

Z celkových výsledkov vidieť relatívne vysokú spoľahlivosť. Takmer v 97% prípadoch dôjde k spoľahlivému určeniu rozloženia ruky v obraze. Nízka pravdepodobnosť vyhlásenia chybného rozloženia ruky za správne je dôležitá pre ďalšie spracovávané kroky v procese detekcie 3D geometrie ruky.

Bezpečnostné incidenty a nespoľahlivosť biometrických systémov, ako už bolo spomínané, znižujú dôveru ľudí v tieto systémy a sú prekážkou zabráňujúcou ich rozšíreniu. Z toho dôvodu som sa snažil o zachovanie čo najvyššej možnej miery spoľahlivosti.

Kapitola 6

Záver

Cieľom práce bolo vytvorenie navigačného programu schopného spoľahlivo navigovať užívateľa k požadovanému rozloženiu ruky na podložke. Najprv predstavila jednotlivé časti biometrického systému a využívané rysy, neskôr popísala využívané metódy týkajúce sa geometrie ruky, a prezentovala dve verzie funkčnej vzorky. Nakoniec čitateľovi poskytla vhľad do návrhu a implementácie systému a vyhodnotila testovacie vzorky.

V rámci práce bol vytvorený navigačný program spracúvajúci vstupy v podobe uložených videosnímkov, tak aj zariadenia pripojené na riadiaci počítač. Každý obraz je spracovávaný separátne a nezávisle na vedomostiach či znalostiach z predošlých výsledkov. Celý systém je koncipovaný ako knižnica funkcií, kde rozhranie k nej je prístupné cez objekt danej triedy.

Od pôvodného zadania sa návrh líši v použití štruktúrovaného osvetlenia ruky na podložke, od ktorého som upustil po konzultácii s vedúcim práce: Namiesto toho bolo pre osvetlenie ruky použité biele svetlo z projektora.

Jedným z hlavných prínosov práce je schopnosť jednoduchej adaptácie na jednotlivé svetelné podmienky a rôzne veľkosti ruky. Ďalším je spoľahlivosť systému v detekcii neplatných stavov rozloženia ruky na podložke, a tým aj uľahčenie ďalšieho spracovania.

V budúcnosti sa počíta s nasadením novej funkčnej vzorky, teda s adaptáciou programu na nové svetelné podmienky, prispôsobenie snímacím uhlom a rozmerom ruky v obraze.

Literatura

- [1] 2maccess: Schlage Recognition System HandKey II [online].
http://www.2maccess.com/images/AccessControl_BiometricReader_HandKeyII-3.jpg, [cit. 2012-05-08].
- [2] Drahanský, M.; Orság, F.; kolektiv: *Biometrie*. Brno: Computer Press a.s., první vydání, 2011, ISBN 978-80-254-8979-6, 294 s.
- [3] Duta, N.; Jain, A.: Deformable Models for Hand Shape Matching [online].
http://biometrics.cse.msu.edu/hand_matching.gif, [cit. 2012-05-08].
- [4] Fouquier, G.; Likforman-Sulem, L.; Darbon, J.; aj.: The Biosecure Geometry-Based System for Hand Modality. IEEE, 2007, s. 801–804.
- [5] Heckbert, P. S.; Garland, M.: Survey of Polygonal Surface Simplification Algorithms [online]. <ftp://ftp.cs.cmu.edu/afs/cs/project/anim/ph/paper/multi97/release/heckbert/simp.pdf>, 1997-5-01 [cit. 2012-04-08].
- [6] Jain, A. K.; Flynn, P.; Ross, A. A.: *Handbook of Biometrics*. New York: Springer Science + Business Media, LLC, 2008, ISBN 978-0-387-71041-9, 556 s.
- [7] Jain, A. K.; Ross, A. A.; Nanadakumar, K.: *Introduction to Biometrics*. New York: Springer Science + Business Media, LLC, 2011, ISBN 978-0-387-77325-4, 311 s.
- [8] de Koning, E.: Douglas-Peucker [online].
<http://psimpl.sourceforge.net/images/psimpl-dp.png>, [cit. 2012-05-08].
- [9] Li, S. Z.: *Encyclopedia of Biometrics*. New York: Springer Science + Business Media, LLC, 2009, ISBN 978-0-387-73003-5, 1433 s.
- [10] Nanavati, S.; Thieme, M.; Nanavati, R.: *Biometrics*. New York: Johe Wiley and Sons, Inc., 2002, ISBN 0471-09945-7, 300 s.
- [11] NSCT Subcommittee on Biometrics: Biometrics history [online].
<http://www.biometrics.gov/Documents/BioHistory.pdf>, 2006-08-07 [cit. 2012-04-06].
- [12] opencv dev team: OpenCV v2.4.0 documentation [online].
<http://opencv.willowgarage.com/wiki/FullOpenCVWiki>, 2012-04-28 [cit. 2012-05-08].
- [13] Rak, R.; Matyáš, V.; Říha, Z.; aj.: *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada Publishing a.s., 2008, ISBN 978-80-247-2365-5, 664 s.

- [14] Ross, A.; Jain, A.; Pankanti, S.: A Hand Geometry-Based Verification System [online]. http://biometrics.cse.msu.edu/hand_features.gif, [cit. 2012-05-08].
- [15] Sinělnikov, R. D.: *Atlas anatomie člověka (I. díl)*. Avicenum, Praha, první vydání, 1980.
- [16] Sinělnikov, R. D.: *Atlas anatomie člověka (II. díl)*. Avicenum, Praha, první vydání, 1981.
- [17] Sinělnikov, R. D.: *Atlas anatomie člověka (III. díl)*. Avicenum, Praha, první vydání, 1982.
- [18] Sonka, M.; Hlavac, V.; Boyle, R.: *Image Processing, Analysis and Machine Vision*. Toronto: Thomson Learning, 2008, ISBN 0-495-08252-X, 829 s.
- [19] Southern California Orthopedic Institute: Anatomy of the Hand and Wrist [online]. <http://www.scoi.com/images/scoi-hand2.jpg>, [cit. 2012-05-08].
- [20] Sports Injury Info: Hand Anatomy [online]. <http://www.sports-injury-info.com/image-files/wrist-bones.jpg>, [cit. 2012-05-08].
- [21] Vacca, J. R.: *Biometric Technologies and Verification Systems*. Burlington: Elsevier Inc., 2007, ISBN 978-0-7506-7967-1, 625 s.
- [22] WWW stránky: OpenCVWiki [online]. <http://opencv.willowgarage.com/wiki/FullOpenCVWiki>, 2011-07-07 [cit. 2012-05-08].
- [23] WWW stránky: Veins [online]. http://2.bp.blogspot.com/GJSobCQoQOg/T2nwI_8fbVI/AAAAAAAAABqs/s5yvNBqURn4/s1600/tumblr_lr0yqee5X1qe31lco1_500.jpg, 2012-03-21 [cit. 2012-05-08].
- [24] WWW stránky: Hand Muscles [online]. <http://www.kidport.com/reflib/science/HumanBody/MuscularSystem/images/HandMuscles.jpg>, [cit. 2012-05-08].